

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Bojan Kilibarda

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

doc. dr. sc. Mislav Čehil, dipl. ing.

Student:

Bojan Kilibarda

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Najviše želim zahvaliti svojoj obitelji na podršci tijekom cijelog dosadašnjeg studija.

Također, zahvaljujem se svojem mentoru doc. dr. sc. Mislavu Čehilu, dipl. ing. na savjetima i pruženoj pomoći prilikom izrade ovog završnog rada.

Bojan Kilibarda



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Bojan Kilibarda**

Mat. br.: 0035190816

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Matematički model Bloka L u TETO Zagreb**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Mathematical model of TETO Zagreb Unit L**

Opis zadatka:

U radu je potrebno napraviti matematički model Bloka L, koji je dio TETO Zagreb, u programskom paketu Ebsilon Professional. Blok L je kombinirano kogeneracijsko postrojenje električne snage 112 MW i toplinske snage 110 MW koje se sastoji od jedne plinske turbine, jednog generatora pare na otpadnu toplinu i jedne parne turbine.

U rezultatima je potrebno prikazati ovisnost svih značajnih parametara, kao što su snaga plinske turbine, snaga parne turbine, proizvodnja pare i termodinamička iskoristivost postrojenja, o opterećenju postrojenja i o okolišnjim uvjetima.

U radu treba navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć prilikom izrade rada.

Zadatak zadan:
30. studenog 2016.


Rok predaje rada:
1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:
1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:


Doc. dr. sc. Mislav Čehil

Predsjednik Povjerenstva:


Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA	III
SAŽETAK	IV
SUMMARY	V
1. UVOD	1
1.1. Termoelektrana - toplana Zagreb (TE-TO) - općenito	1
1.2. TE-TO Zagreb - povijest [1]	2
1.3. TE-TO Zagreb - podaci o pogonu	3
1.4. O Bloku L	5
1.5. O programskom paketu EBSILON Professional	7
2. RAD POSTROJENJA U OVISNOSTI O STANJU OKOLIŠA	9
2.1. Utjecaj relativne vlažnosti zraka na rad postrojenja	9
2.2. Utjecaj tlaka okolišnog zraka na rad postrojenja	13
2.3. Utjecaj temperature okoline na rad postrojenja	17
3. RAD POSTROJENJA U OVISNOSTI O POTREBNOJ TOPLINSKOJ SNAZI	24
4. PARAMETRI RADA POSTROJENJA SA SNIŽENIM OPTEREĆENJEM PLINSKE TURBINE	31
5. ZAKLJUČAK	37
LITERATURA	38
PRILOZI	39

POPIS SLIKA

Slika 1.	Lokacija TE-TO Zagreb	1
Slika 2.	Shema Bloka L.....	6
Slika 3.	Sučelje programskog paketa EBSILON Professional	7
Slika 4.	Primjer T,s dijagrama napravljenog unutar programskog paketa EBSILON Professional.....	8
Slika 5.	Ovisnost ukupne el. snage postrojenja o relativnoj vlažnosti zraka	10
Slika 6.	Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o relativnoj vlažnosti zraka	11
Slika 7.	Ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o relativnoj vlažnosti zraka	12
Slika 8.	Ovisnost ukupne el. snage postrojenja o tlaku okolišnog zraka	14
Slika 9.	Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o tlaku okolišnog zraka	15
Slika 10.	Ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o tlaku okolišnog zraka	16
Slika 11.	Ovisnost masenog protoka dimnih plinova o temperaturi okoline	19
Slika 12.	Ovisnost snage plinske turbine o temperaturi okoline	19
Slika 13.	Ovisnost temperature dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine o temperaturi okoline	20
Slika 14.	Ovisnost snage parne turbine o temperaturi okoline.....	21
Slika 15.	Ovisnost ukupne električne snage postrojenja o temperaturi okoline.....	22
Slika 16.	Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o temperaturi okoline	22
Slika 17.	Ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o temperaturi okoline	23
Slika 18.	Ovisnost toplinske snage zagrijača mrežne vode o potrebnoj toplinskoj snazi	26
Slika 19.	Ovisnost snage parne turbine o potrebnoj toplinskoj snazi	27
Slika 20.	Ovisnost toplinske snage grijača C5 o potrebnoj toplinskoj snazi	28
Slika 21.	Ovisnost toplinske snage grijača C6 o potrebnoj toplinskoj snazi	28
Slika 22.	Ovisnost ukupne električne snage postrojenja o potrebnoj toplinskoj snazi	29
Slika 23.	Ovisnost električnog stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o potrebnoj toplinskoj snazi	30
Slika 24.	Ovisnost ukupnog stupnja iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja o potrebnoj toplinskoj snazi	30
Slika 25.	Prikaz snage plinske turbine za različita opterećenja.....	33
Slika 26.	Ovisnost snage parne turbine u odnosu na opterećenje plinske turbine.....	34
Slika 27.	Ovisnost ukupne snage postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine.....	34
Slika 28.	Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine	35
Slika 29.	Ovisnost električnog stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine	35
Slika 30.	Ovisnost ukupnog stupnja iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine	36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Godišnja proizvodnja TE-TO Zagreb [2]	2
Tablica 2. Popis proizvodnih jedinica u TE-TO Zagreb [2]	3
Tablica 3. Konstantni parametri pri promjeni vlažnosti zraka	9
Tablica 4. Rezultati simulacije za različite vlažnosti zraka	10
Tablica 5. Konstantni parametri pri promjeni tlaka okolišnog zraka	13
Tablica 6. Rezultati simulacije za različite tlakove okolišnog zraka	14
Tablica 7. Konstantni parametri pri promjeni temperature okoline	17
Tablica 8. Rezultati simulacije za različite temperature okolišnog zraka	18
Tablica 9. Konstantni parametri pri promjeni tražene toplinske snage	24
Tablica 10. Rezultati simulacije za različite toplinske snage	25
Tablica 11. Konstantni parametri pri promjeni opterećenja plinske turbine	31
Tablica 12. Rezultati simulacije za različita opterećenja plinske turbine	32

SAŽETAK

U okviru ovog završnog rada prikazani su parametri rada Bloka L u TE-TO Zagreb za različite uvjete rada. Simulacija rada postrojenja rađena je uz pomoć programskog paketa EBSILON Professional.

Analiza parametara rađena je u ovisnosti o stanju okoliša, što znači da se mijenjala relativna vlažnost zraka, tlak okolišnog zraka te temperatura okolišnog zraka. Analizirao se utjecaj spomenutih varijabli na rad cjelokupnog Bloka L.

Također, analizirao se i utjecaj potrebe za toplinskom snagom na rad postrojenja. Vidi se da potražnja za toplinskom snagom značajno utječe na rad.

Na kraju, analiziran je utjecaj sniženog opterećenja plinske turbine na parametre rada postrojenja, što je bitno budući da postrojenje ne radi cijelo vrijeme na 100% opterećenja.

Ključne riječi: Blok L, TE-TO Zagreb, EBSILON Professional, simulacija

SUMMARY

In this bachelor's thesis it is shown how operating parameters of Block L in TE-TO Zagreb change while altering some of the working conditions. Simulation was performed with EBSILON Professional software.

Analysis of working parameters is performed depending on surrounding air characteristics, which means that ambient air pressure, temperature and relative humidity were being altered. Impacts of altering mentioned parameters on Block L were analyzed.

Also, the impact of thermal power requirements on other operating parameters was analyzed. It can be seen that the demand for thermal power significantly affects the operation.

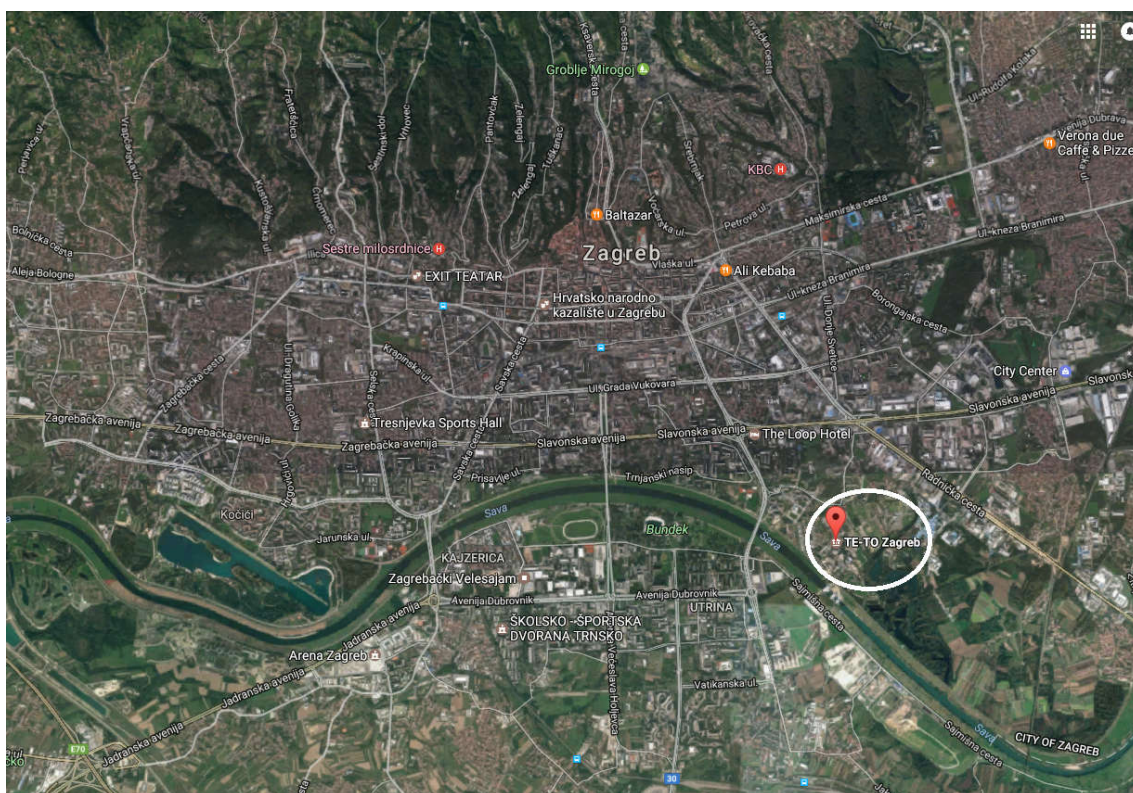
Finally, the impact of reduced load of the gas turbine on the plant parameters was analyzed, which is important because the plant does not operate at 100% load all the time.

Key words: Block L, TE-TO Zagreb, EBSILON Professional, simulation

1. UVOD

1.1. Termoelektrana - toplana Zagreb (TE-TO) - općenito

Termoelektrana - toplana (TE-TO) Zagreb od velike je važnosti za grad Zagreb iz razloga što, uz EL-TO, opskrbljuje mnoga kućanstva toplinskom energijom koja se koristi za grijanje i za opskrbu potrošnom toplom vodom. Uz to, TE-TO je i od velike važnosti i za Hrvatsku elektroprivredu (HEP) zbog proizvodnje električne energije. TE-TO Zagreb nalazi se na Žitnjaku, na lijevoj obali rijeke Save.



Slika 1. Lokacija TE-TO Zagreb

1.2. TE-TO Zagreb - povijest [1]

- 1) TE-TO Zagreb po prvi put ulazi u pogon 1962. godine. Do 1968. godine je kao gorivo koristila ugljen, dok 1968. prelazi na teško loživno ulje i na plin.
- 2) 1979. godine izgrađen je drugi blok nazivne snage 120 MW koji koristi plin i teško loživno ulje.
- 3) 2003. godine TE-TO dobiva novi kogeneracijski kombi blok K s dvije plinske i jednom parnom turbinom, ukupne električne snage 202 MW, koji koristi plin i ekstralako specijalno loživno ulje.
- 4) 2009. godine pušten je u rad novi kogeneracijski kombi blok L s jednom plinskom i jednom parnom turbinom, električne snage 112 MW i toplinske snage 110 MW, koji kao gorivo koristi plin i ekstra lako specijalno loživno ulje.

Godišnja proizvodnja	2010.	2011.	2012.	2013.	2014.	2015.
Toplinska energija [MWh]	939.610	880.046	849.649	589.344	734.605	776.536
Tehnološka para [t]	256.889	258.827	255.532	249.128	203.032	201.000
Električna energija - prag [GWh]	2.028	2.057	1.936	1.363	389.8	535

Tablica 1. Godišnja proizvodnja TE-TO Zagreb [2]

1.3. TE-TO Zagreb - podaci o pogonu

TE-TO proizvodi i električnu i toplinsku energiju, što znači da je kogeneracijski pogon. Kogeneracijski pogoni imaju veći ukupni stupanj iskoristivosti od običnih elektrana. TE-TO ima ukupnu električnu snagu od 440 MW i ukupnu toplinsku snagu od 850 MW.

U TE-TO se koriste tri vrste goriva:

- g1 - prirodni plin
- g2 - ekstra lako loživo ulje
- g3 - loživo ulje

Snaga proizvodnih jedinica		Tip	Gorivo	Godina izgradnje
blok C	120 MWe / 200 MWt	toplifikacijski blok	g1 i g3	1979.
blok D	52 MWt	pom . parna kotlovnica PK-3	g1 i g3	1985.
blok E	58 MWt	vrelovodni kotao VK-3	g1	1977.
blok F	58 MWt	vrelovodni kotao VK-4	g1	1978.
blok G	116 MWt	vrelovodni kotao VK-5	g1 i g3	1982.
blok H	116 MWt	vrelovodni kotao VK-6	g1 i g3	1990.
blok K	208 MWe / 140 MWt	kombi kogeneracijski blok s dvije plinske turbine	g1 i g2	2003.
blok L	112 MWe / 110 MWt	kombi kogeneracijski blok s jednom plinskom i jednom parnom turbinom	g1	2009.

Tablica 2. Popis proizvodnih jedinica u TE-TO Zagreb [2]

Kratki opis blokova:

- Blok C - oduzimno - kondenzacijski s dva oduzimanja s automatskom regulacijom na jednom oduzimanju, a 1991. godine rekonstrukcijom je izvedeno i oduzimanje tehnološke pare.
- Blok D - pomoćna kotlovnica služi za proizvodnju toplinske energije, 64/80 t/h tehnološke pare, za slučaj smetnje na jedinicama spojnog procesa.
- Blokovi E, F, G, H - vrelovodne kotlovnice služe za proizvodnju toplinske energije za potrebe vrelovodnog sustava, ukupne snage 300 MWt, kao potpora u slučaju kvara osnovnih jedinica i ekstremno niskih temperatura.
- Blok K - novi kombi - kogeneracijski blok sastoji se od dva plinsko - turbinska agregata (svaki 71 MW snage), dva kotla na otpadnu toplinu ispušnih plinova plinskih turbina, jednog parnog, oduzimno-kondenzacijskog turbo agregata maksimalne snage 66 MW te vrelovodnog zagrijača snage 80 MWt.

Korištenjem prirodnog plina kao goriva, u kombi-kogeneracijskom postrojenju istovremeno se dobiva više vrsta energije. Izgaranjem prirodnog plina u plinskoj turbini se dobiva električna energija i otpadna toplina plinova izgaranja, koja svojom energijom u kotlu utilizatoru proizvodi pregrijanu vodenu paru za pokretanje parne turbine. U spojnom procesu iz parne turbine se može dobivati električna energija i dodatna energija u obliku industrijske pare i ogrjevne topline.

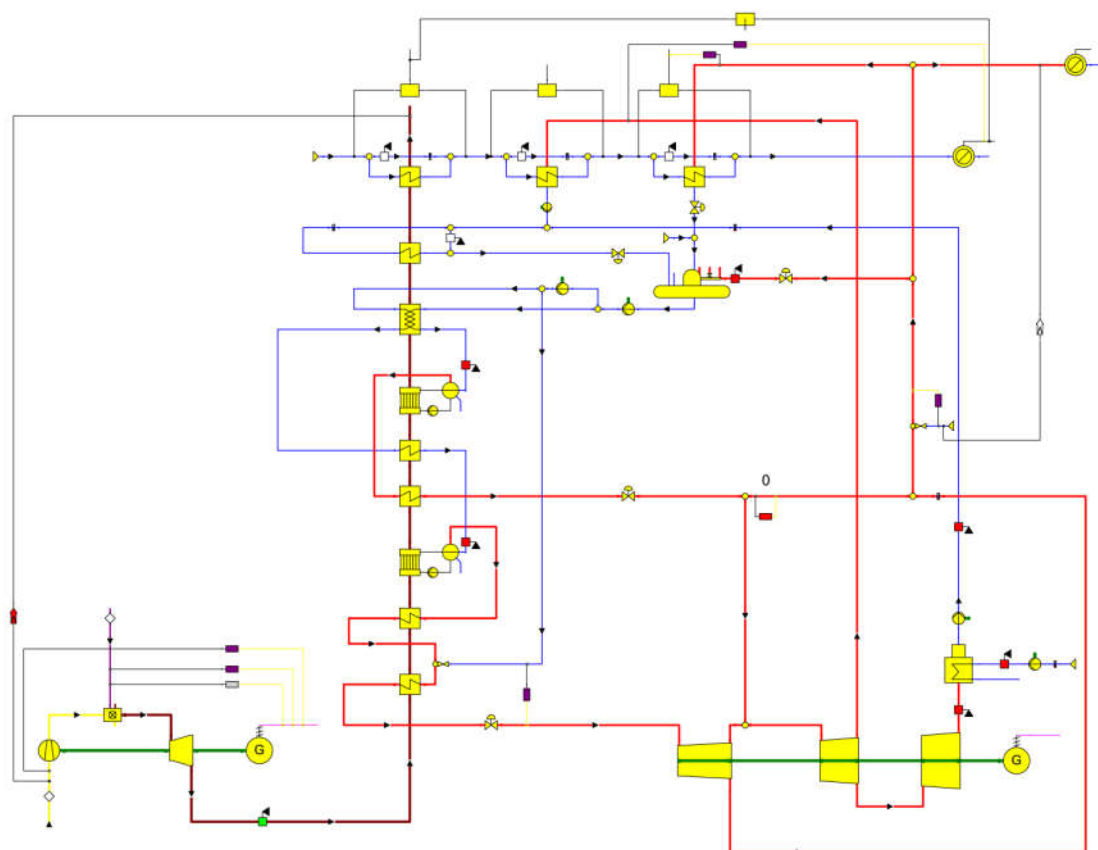
- Blok L - najnoviji kombi - kogeneracijski blok se sastoji od jednog plinsko - turbinskog agregata (75 MW snage), jednog kotla na otpadnu toplinu ispušnih plinova plinske turbine, jednog parnog, oduzimno - kondenzacijskog turbo agregata maksimalne snage 37 MW te vrelovodnog zagrijača snage 60 MWt. [3]

1.4. O Bloku L

Blok L je kombinirano kogeneracijsko postrojenje električne snage 112 MW i toplinske snage 110 MW. Plinsko - turbinski dio postrojenja sastoji se od kompresora, komore izgaranja i plinske turbine nazivne snage 75 MW. Nakon što dimni plinovi prođu kroz plinsku turbinu, oni se provode kroz generator pare na otpadnu toplinu. U generatoru pare dimni plinovi predaju toplinu vodi i vodenoj pari parno - turbinskog dijela. Toplina se predaje preko izmjenjivača topline, koji su poredani na sljedeći način:

- visokotlačni pregrijač pare 2
- visokotlačni pregrijač pare 1
- visokotlačni isparivač
- niskotlačni pregrijač pare
- visokotlačni ekonomajzer 2
- niskotlačni isparivač
- visokotlačni ekonomajzer 1 i niskotlačni ekonomajzer (paralelno)
- zagrijač kondenzata
- zagrijač mrežne vode

Nakon što prođu kroz cijeli generator pare na otpadnu toplinu, dimni plinovi se kroz dimnjak ispuštaju u okolinu. U parno - turbinskom dijelu postrojenja nalazi se parna turbina snage 37 MW koja ima oduzimanja na dva mjesta. Para koja se oduzima na turbini koristi se za potrebe otplinjača, za grijanje mrežne vode u grijačima C5 i C6 te za zadovoljavanje potrebe za industrijskom parom. U simulaciji je zahtijevana najviša temperatura industrijske pare 240°C. Ta temperatura postiže se ubrizgavanjem vode u paru s ciljem snižavanja temperature. Maseni protok industrijske pare postavljen je na vrijednost masenog protoka vode koja se ubrizgava u paru kako bi se održala masena bilanca u parno - turbinskom dijelu. Na Slici 2 prikazana je shema Bloka L izrađena u programskom paketu EBSILON Professional.

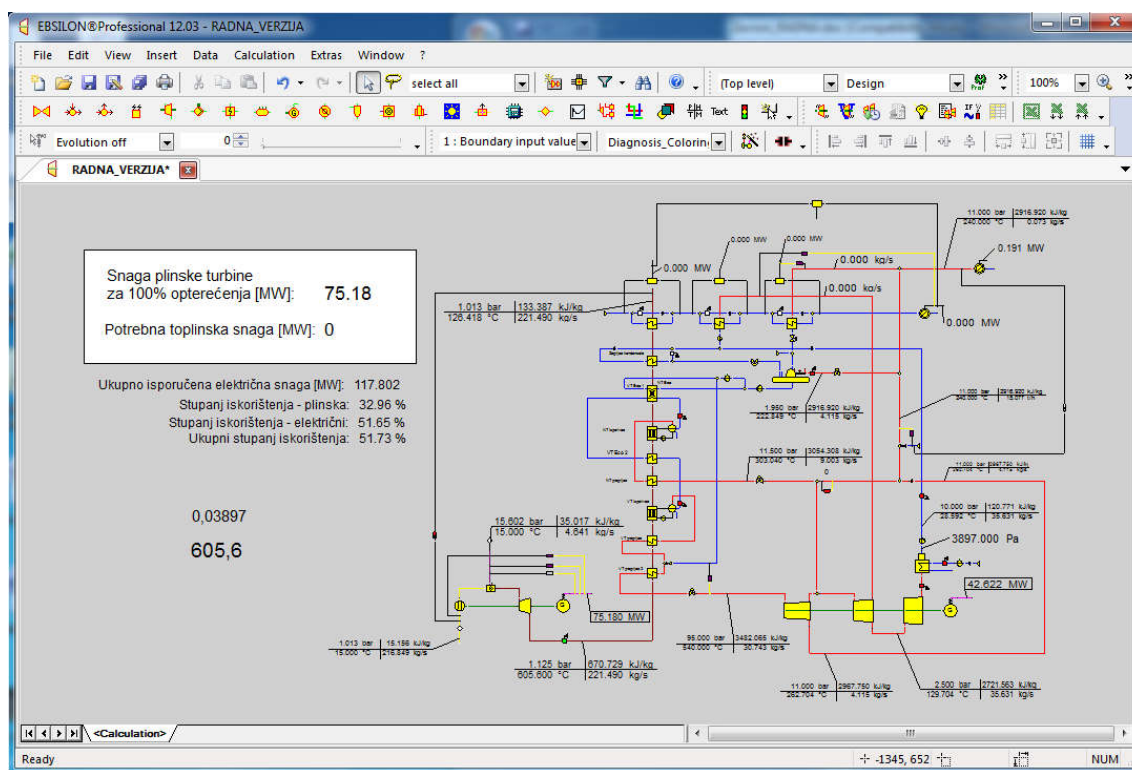


Slika 2. Shema Bloka L

1.5. O programskom paketu EBSILON Professional

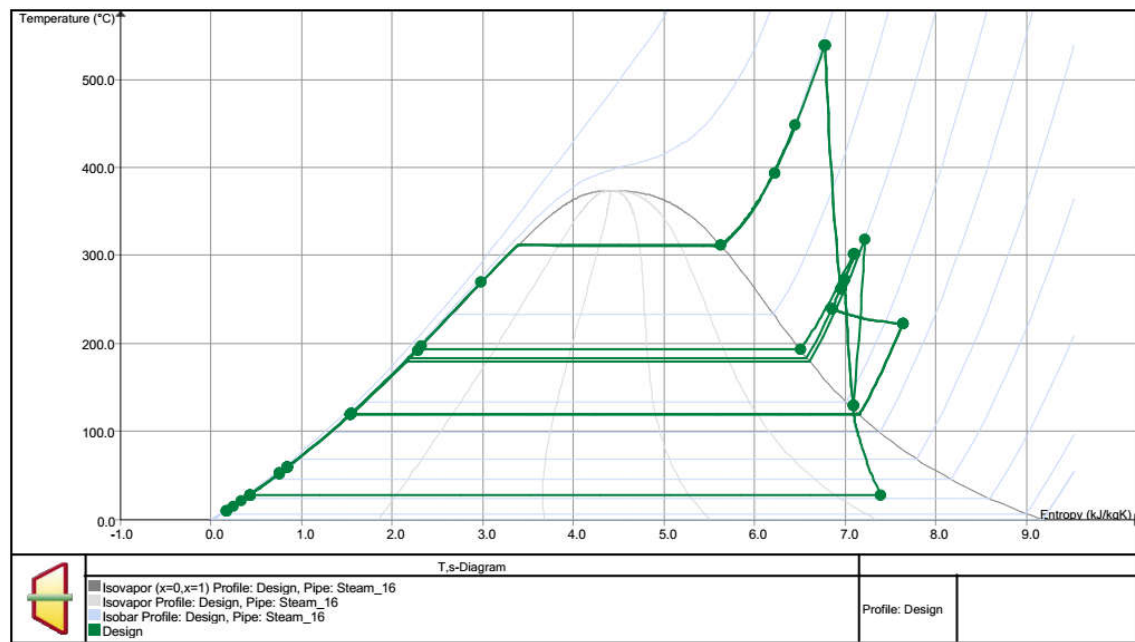
EBSILON Professional programski je paket koji se koristi za simuliranje termodinamičkih procesa te za konstruiranje, projektiranje i optimiziranje pogona. Programski paket u vlasništvu je tvrtke STEAG GmbH. Tvrtka ustupa studentske licence na nekoliko mjeseci za potrebe izrade završnih, diplomskih te doktorskih radova. [4]

Sučelje programskog paketa, prikazano na Slici 3, vrlo je intuitivno te s može brzo shvatiti princip djelovanja i zakonitosti unutar programa.



Slika 3. Sučelje programskog paketa EBSILON Professional

Programski paket ima mogućnost prikaza raznih dijagrama (T,q ; h,s ; h,x ; T,s ; ...), međutim iz njih se ne mogu očitati relevantni podaci za potrebe ovog rada, stoga se u radu, osim u uvodu, neće prikazivati spomenuti dijagrami.



Slika 4. Primjer T,s dijagrama napravljenog unutar programskog paketa EBSILON Professional

2. RAD POSTROJENJA U OVISNOSTI O STANJU OKOLIŠA

Na rad termoenergetskih postrojenja utječe mnogo različitih faktora, među kojima su i svojstva okolišnog zraka. U ovom radu napravljena je analiza utjecaja temperature, relativne vlažnosti i tlaka okolišnog zraka na rad postrojenja.

2.1. Utjecaj relativne vlažnosti zraka na rad postrojenja

Relativna vlažnost zraka izravno utječe na sastav zraka tako što se mijenja udio vodene pare u zraku. Zbog razlike u molarnim masama suhog zraka i vode, s porastom relativne vlažnosti dolazi do pada gustoće zraka, što utječe na rad kompresora. Također, kako se s promjenom sastava zraka mijenja i njegov specifični toplinski kapacitet, jasno je da će svaka promjena vlažnosti zraka imati određeni utjecaj na procese izmjene topline.

Kako bi se najlakše odredio utjecaj relativne vlažnosti zraka, ostali parametri (temperatura okoline, tlak zraka, opterećenje, potrebna toplinska snaga, maseni protok goriva i zraka te temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine) se u simulaciji drže na konstantnim vrijednostima prikazanim u Tablici 3, dok se relativna vlažnost mijenjala od 20% do 100%, u koracima od 20%.

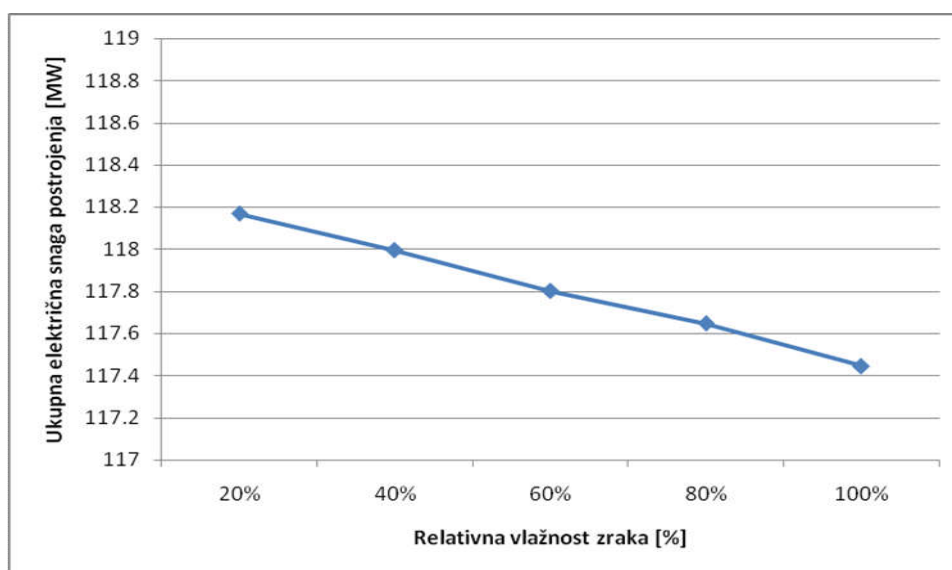
Tablica 3. Konstantni parametri pri promjeni vlažnosti zraka

Konstantni parametri	
Temperatura okoline [°C]	15
Tlak zraka [Pa]	101325
Opterećenje [%]	100%
Potrebna toplinska snaga [MW]	0
Maseni protok goriva [kg/s]	4.641
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849
Temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine [°C]	605.6

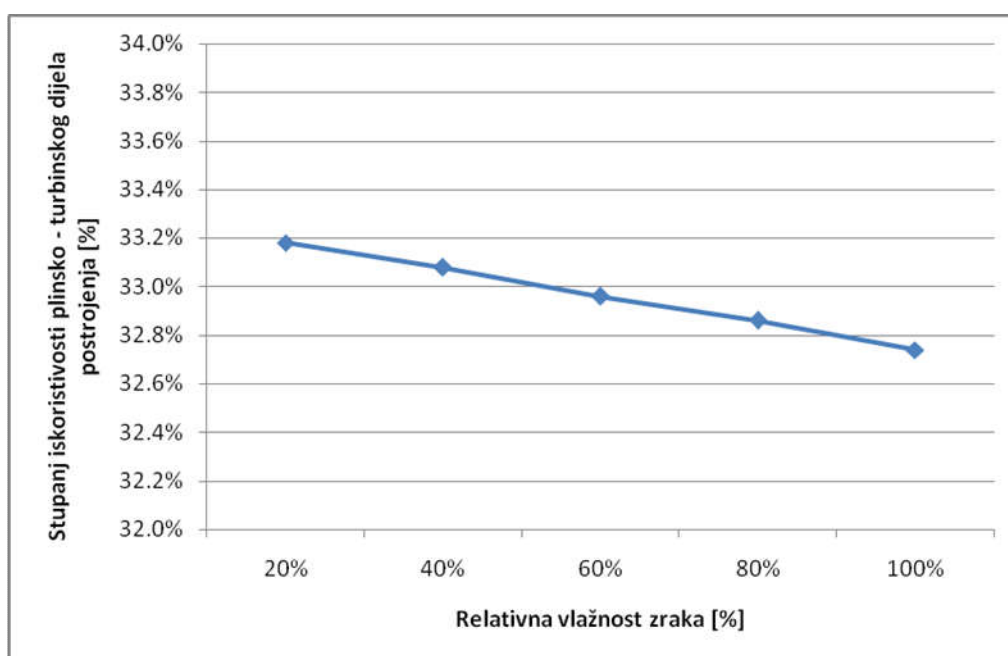
Tablica 4. Rezultati simulacije za različite vlažnosti zraka

Relativna vlažnost zraka [%]	20%	40%	60%	80%	100%
Snaga plinske turbine [MW]	75.696	75.448	75.18	74.95	74.672
Snaga parne turbine [MW]	42.473	42.547	42.622	42.697	42.773
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	118.169	117.995	117.802	117.647	117.445
Stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja [%]	33.18%	33.08%	32.96%	32.86%	32.74%
Stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja [%]	51.80%	51.73%	51.65%	51.57%	51.49%

U Tablici 4 prikazani su rezultati simulacije za različite vlažnosti zraka. Jasno je vidljivo da se s porastom vlažnosti zraka, snaga plinske turbine blago snižava. Razlog tome je upravo činjenica da porast vlažnosti smanjuje gustoću zraka, zbog čega raste snaga koju troši kompresor. Također je vidljivo da s porastom vlažnosti zraka raste snaga parne turbine, međutim, porast snage parne turbine je manji od pada snage plinske turbine te je zbog toga ukupna električna snaga postrojenja u blagom padu, što je pokazano na Slici 5.

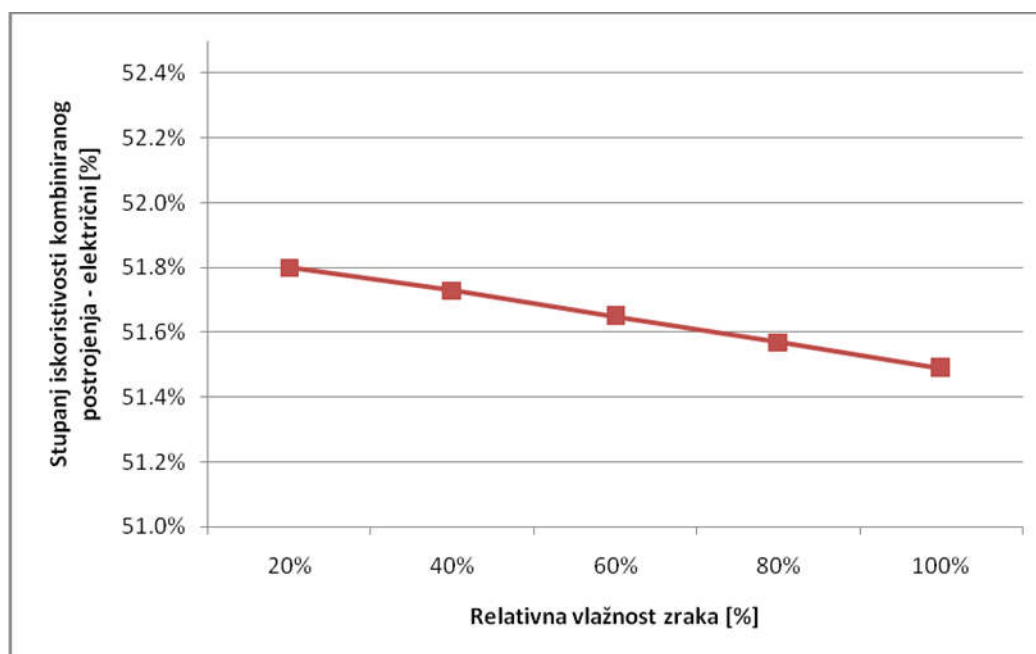
**Slika 5. Ovisnost ukupne el. snage postrojenja o relativnoj vlažnosti zraka**

Iz Slike 6 vidljivo je da porast relativne vlažnosti zraka negativno utječe na stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja.



Slika 6. Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o relativnoj vlažnosti zraka

Isto tako, budući da je ukupna električna snaga postrojenja u padu, može se zaključiti da će se i stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja snižavati, kao što je i predloženo na Slici 7.



Slika 7. Ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o relativnoj vlažnosti zraka

Iz Tablice 4 vidi se da razlika stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja za slučajeve od 100% i 20% relativne vlažnosti zraka nije velika te iznosi 0.31%, dok je razlika ukupne električne snage postrojenja 0.724 MW, što nije osobito značajno.

2.2. Utjecaj tlaka okolišnog zraka na rad postrojenja

Drugi parametar čiji utjecaj na rad postrojenja će se promatrati je tlak okolišnog zraka. Naime, ako se promatra zrak konstantne temperature, jasno je da s porastom tlaka raste i gustoća. Ako je zrak veće gustoće, tada je za komprimiranje iste mase zraka potreban manji rad kompresora. Kako plinska turbina pokreće kompresor, logično je zaključiti da će više snage biti raspoloživo za proizvodnju električne energije u plinsko - turbinskom dijelu postrojenja.

Kako bi se najlakše odredio utjecaj tlaka okolišnog zraka, ostali parametri (temperatura okoline, relativna vlažnost zraka, opterećenje, potrebna toplinska snaga, maseni protok goriva i zraka te temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine) se u simulaciji drže na konstantnim vrijednostima prikazanim u Tablici 5, dok se tlak okolišnog zraka mijenjao od 99325 Pa do 103325 Pa, u koracima od 1000 Pa.

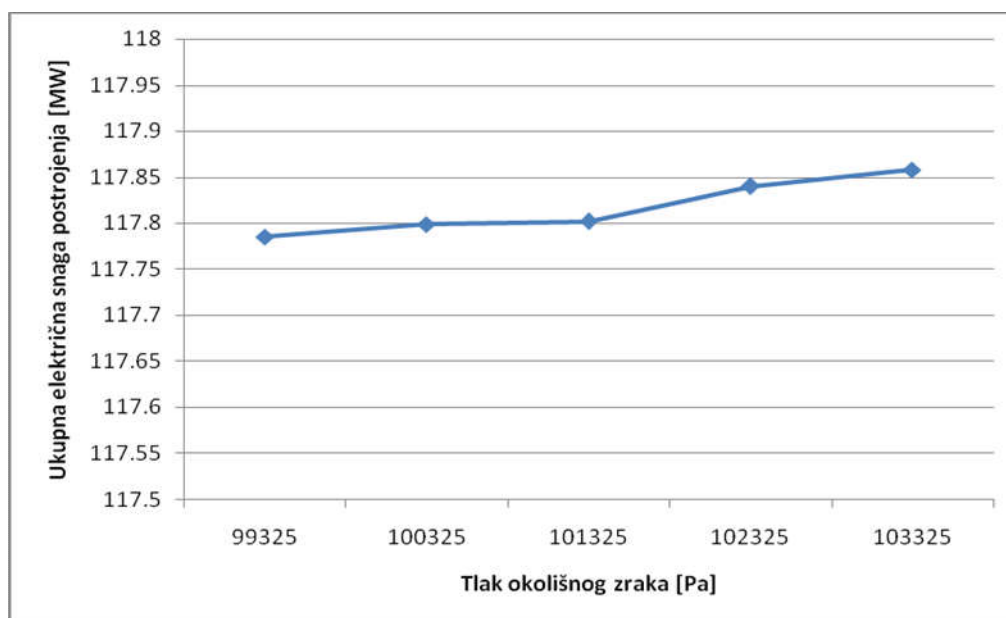
Tablica 5. Konstantni parametri pri promjeni tlaka okolišnog zraka

Konstantni parametri	
Temperatura okoline [°C]	15
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Opterećenje [%]	100%
Potrebna toplinska snaga [MW]	0
Maseni protok goriva [kg/s]	4.641
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849
Temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine [°C]	605.6

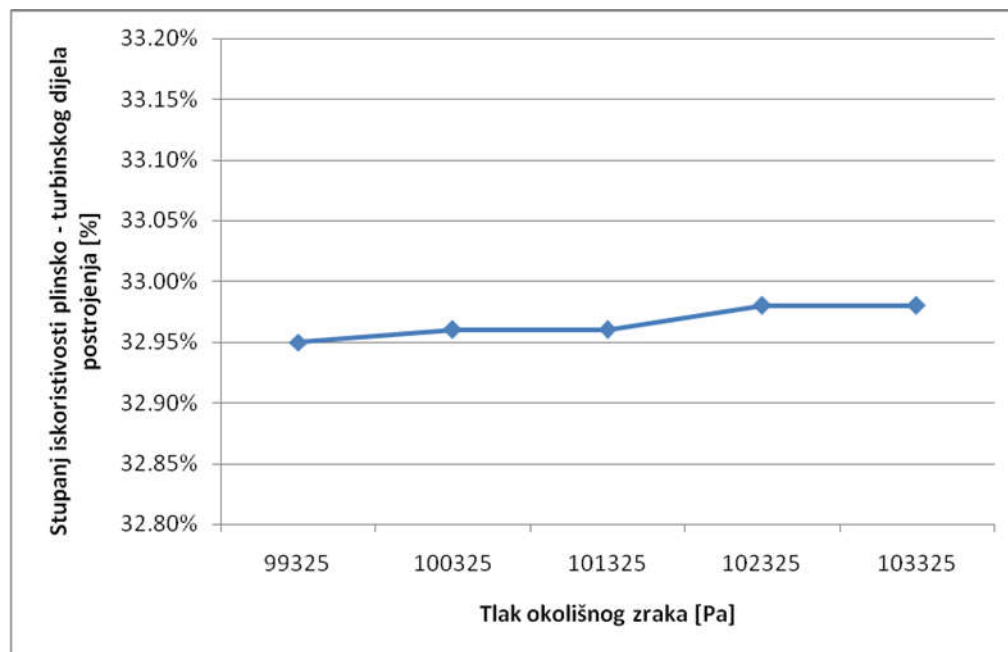
Tablica 6. Rezultati simulacije za različite tlakove okolišnog zraka

Tlak okolišnog zraka [Pa]	99325	100325	101325	102325	103325
Snaga plinske turbine [MW]	75.158	75.175	75.18	75.22	75.24
Snaga parne turbine [MW]	42.627	42.624	42.622	42.62	42.618
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	117.785	117.799	117.802	117.84	117.858
Stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja [%]	32.95%	32.96%	32.96%	32.98%	32.98%
Stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja [%]	51.63%	51.64%	51.65%	51.66%	51.67%

U Tablici 6 prikazani su rezultati simulacije za različite vrijednosti tlaka okolišnog zraka. Iz prikazanog se vidi da se s porastom tlaka okolišnog zraka, snaga plinske turbine vrlo blago povećava. Razlog tome je već ranije opisana zavisnost vanjskog tlaka i rada koji troši turbina. Također je vidljivo da se s porastom tlaka okolišnog zraka snaga parne turbine neznatno smanjuje. Kako je pad snage parne turbine manji od porasta snage na plinskoj turbini, lako se zaključuje da s porastom okolišnog tlaka raste i ukupna električna snaga postrojenja, što je i prikazano na Slici 8.

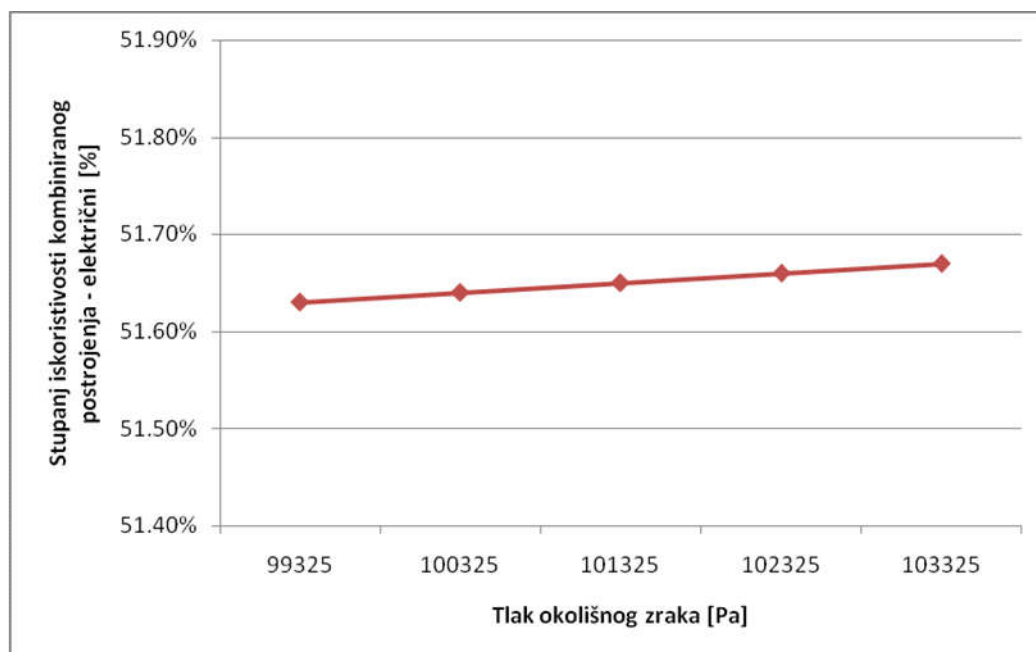
**Slika 8. Ovisnost ukupne el. snage postrojenja o tlaku okolišnog zraka**

Kako maseni protok goriva držimo konstantnim, dok je snaga plinske turbine veća pri višem okolišnom tlaku, logično je zaključiti da će porast okolišnog tlaka zraka imati pozitivan utjecaj i na stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja, što se i vidi na Slici 9.



Slika 9. Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o tlaku okolišnog zraka

Isto tako, budući da je ukupna električna snaga postrojenja u porastu s porastom okolišnog tlaka, sukladno tome može se zaključiti da će se i stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja povećavati, kao što je i predloženo na Slici 10.



Slika 10. Ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o tlaku okolišnog zraka

Iz Tablice 6 vidi se da razlika stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja za slučajeve od 99325 Pa i 103325 Pa iznosi 0.04%, a razlika ukupne električne snage postrojenja je 0.073 MW, što je praktički zanemarivo, tako da se može zaključiti da oscilacije okolišnog tlaka na određenoj lokaciji nemaju znatan utjecaj na rad postrojenja. Međutim, nadmorska visina na kojoj se nalazi postrojenje može imati znatan utjecaj na rad, pošto se u slučaju većih nadmorskih visina može raditi o znatno nižim okolišnim tlakovima.

2.3. Utjecaj temperature okoline na rad postrojenja

Idući parametar čiji utjecaj na rad postrojenja će se promatrati je temperatura okoline, odnosno temperatura okolišnog zraka. Ako se promatra zrak pri konstantnom tlaku, očito je da se s porastom temperature smanjuje gustoća, i obratno. Može se odmah zaključiti, isto kao i u prethodnom slučaju, da je za zrak niže temperature (više gustoće) potreban manji rad kompresora za istu količinu zraka te više snage ostaje na raspolaganju za proizvodnju električne energije u plinsko - turbinskom dijelu postrojenja. Ovisno o tipu plinske turbine, izlazna snaga se smanjuje za 5-10% u odnosu na nazivnu snagu (pri 15 °C) za porast temperature okolišnog zraka od 10°C. [5]

Da bi se lakše odredio utjecaj temperature okolišnog zraka na rad postrojenja, neki parametri, kao što su tlak okolišnog zraka, relativna vlažnost zraka, opterećenje i potrebna toplinska snaga, drže se na konstantnim vrijednostima (Tablica 7).

Tablica 7. Konstantni parametri pri promjeni temperature okoline

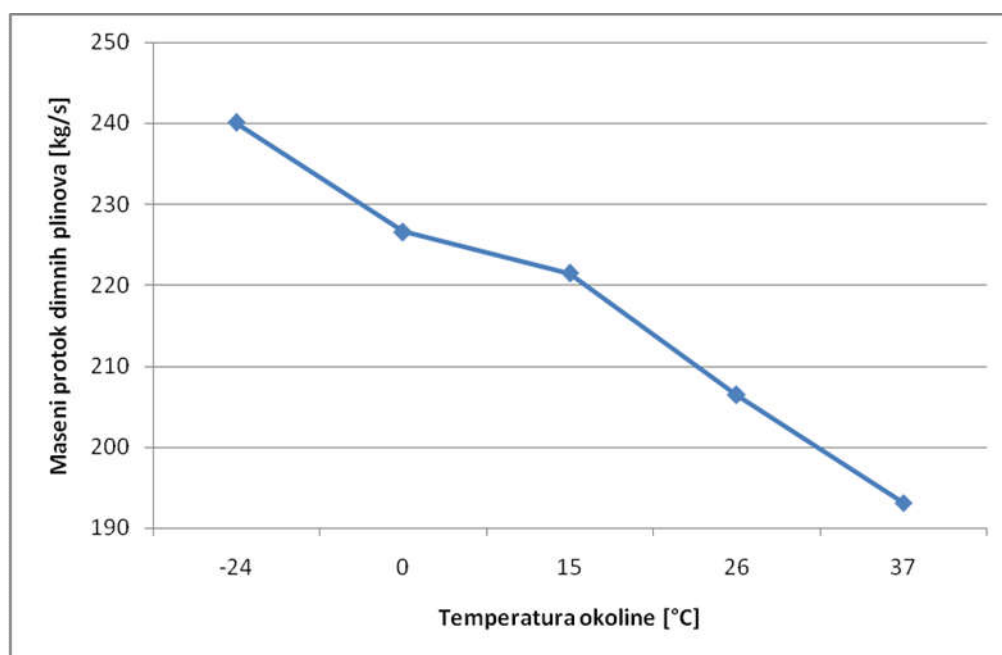
Konstantni parametri	
Tlak okolišnog zraka [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Opterećenje [%]	100%
Potrebna toplinska snaga [MW]	0

Temperatura okolišnog zraka se u simulaciji, za potrebe ovoga rada, mijenjala kao što je vidljivo u Tablici 8. Također, mijenjat će se i temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine te možemo očekivati da će postojati promjene snage plinske turbine.

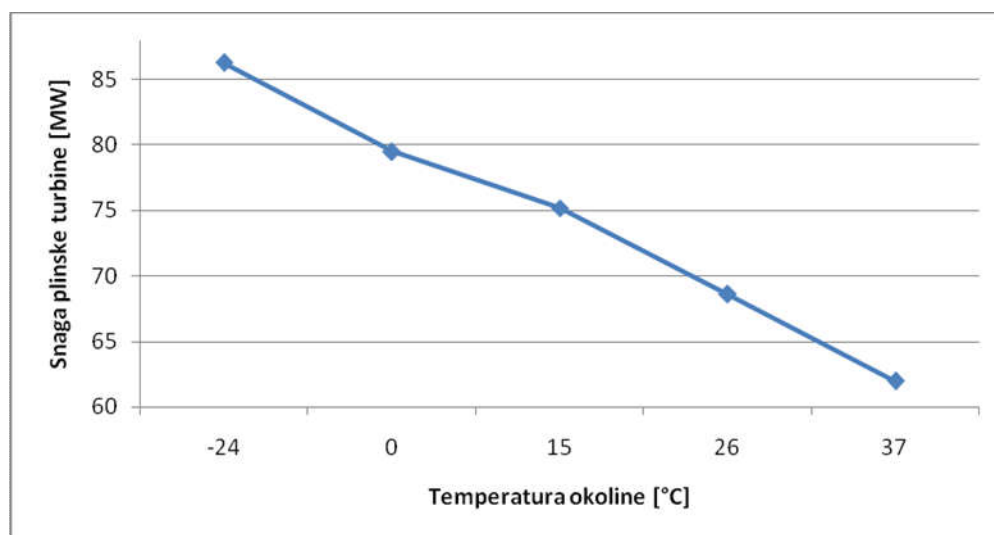
Tablica 8. Rezultati simulacije za različite temperature okolišnog zraka

Temperatura okolišnog zraka [°C]	-24	0	15	26	37
Maseni protok goriva [kg/s]	5.029	4.747	4.641	4.325	4.046
Maseni protok zraka [kg/s]	235.017	221.838	216.849	202.111	189.072
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	240.046	226.585	221.49	206.436	193.118
Temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine [°C]	558.3	585	605.6	618	631.7
Proizvodnja niskotlačne pare [kg/s]	10.092	9.273	9.003	8.237	7.616
Proizvodnja visokotlačne pare [kg/s]	28.408	29.328	30.743	30.041	29.614
Snaga plinske turbine [MW]	86.3	79.5	75.18	68.6	61.99
Snaga parne turbine [MW]	41.887	43.249	42.662	39.548	39.08
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	128.187	122.749	117.802	108.148	101.07
Stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja [%]	34.91%	34.07%	32.96%	32.27%	31.17%
Stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja [%]	51.86%	52.61%	51.65%	50.87%	50.82%

Podatci u Tablici 8 pokazuju da se s porastom temperature okolišnog zraka smanjuju maseni protoci goriva i zraka. Budući da je maseni protok dimnih plinova jednak zbroju masenih protoka zraka i goriva, jasno je da se i maseni protok dimnih plinova smanjuje s porastom vanjske temperature, kao što je i prikazano na Slici 11. Posljedica pada masenog protoka dimnih plinova pri istoj razlici tlakova prije i nakon plinske turbine je pad snage plinske turbine, što se i vidi na Slici 12.

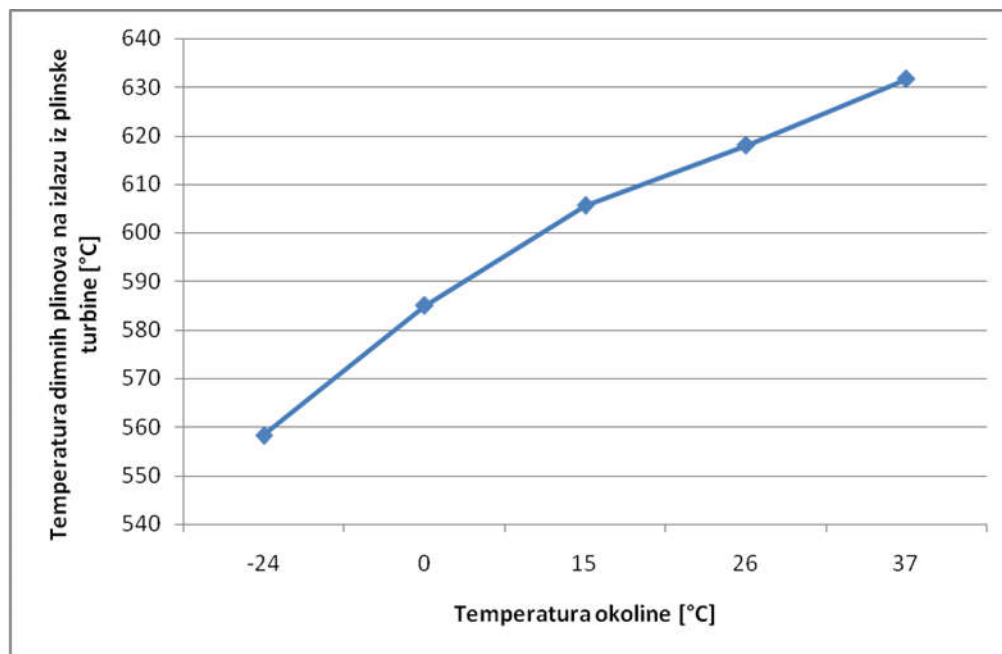


Slika 11. Ovisnost masenog protoka dimnih plinova o temperaturi okoline



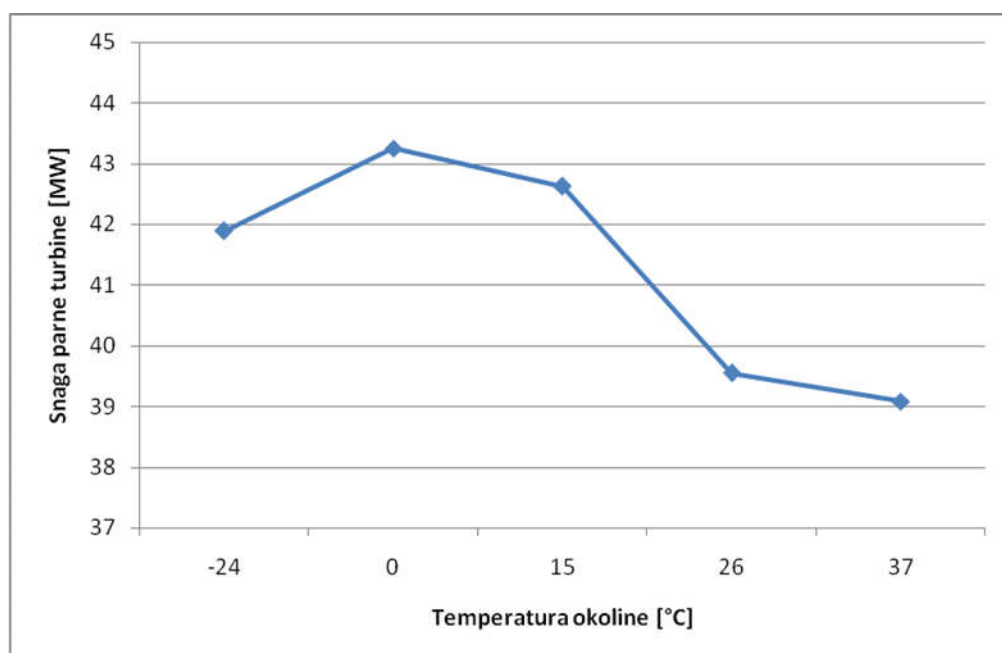
Slika 12. Ovisnost snage plinske turbine o temperaturi okoline

Međutim, Slika 13 pokazuje kako temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine raste s porastom temperature okolišnog zraka.



Slika 13. Ovisnost temperature dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine o temperaturi okoline

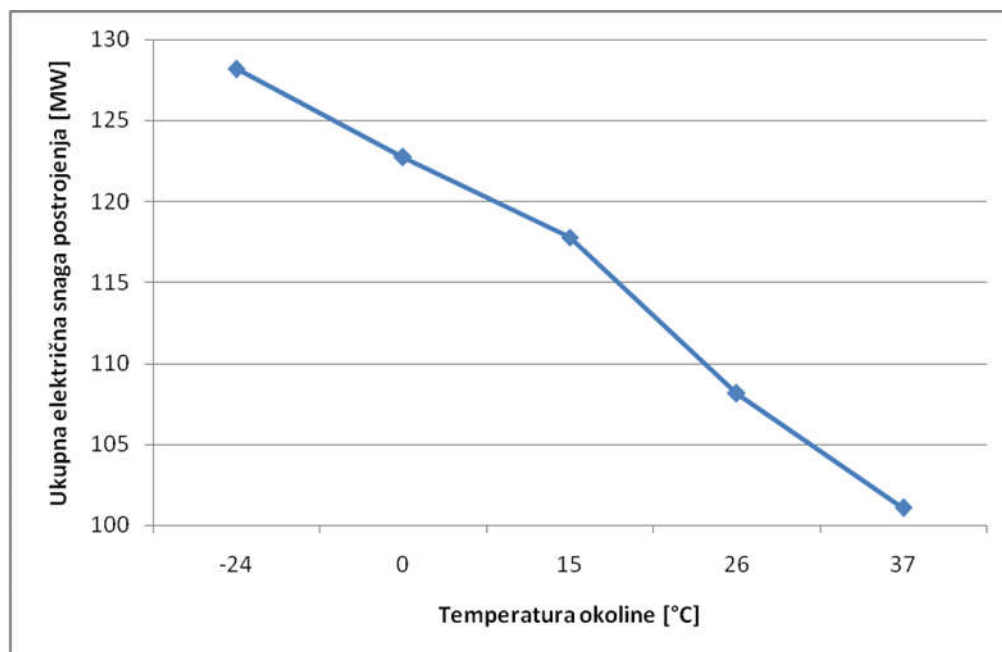
Ako se zna da na količinu izmijenjene topline između vrućih dimnih plinova iza plinske turbine i vode i vodene pare u parno - turbinskom dijelu postrojenja utječu i temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine i maseni protok dimnih plinova, tada se ne može bez rezultata simulacije zaključiti kako će se mijenjati snaga parne turbine u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Iz rezultata simulacije (Tablica 8) se može iščitati da se s porastom vanjske temperature proizvodnja niskotlačne pare smanjuje, dok proizvodnja visokotlačne pare prvo kreće rasti, a nakon neke temperature kreće padati. Takvo ponašanje proizvodnje niskotlačne i visokotlačne pare uzrokuje promjenu snage parne turbine prikazanu Slikom 14.



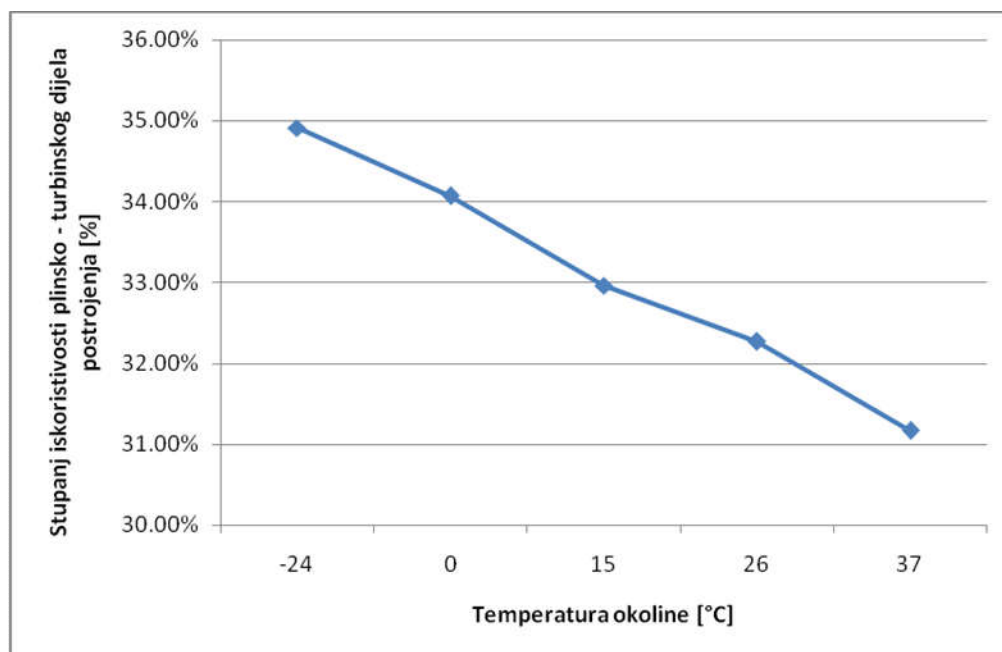
Slika 14. Ovisnost snage parne turbine o temperaturi okoline

Kao što se vidi, snaga parne turbine prvo krene rasti zbog porasta proizvodnje visokotlačne pare, da bi nakon neke vanjske temperature dostigla maksimalnu vrijednost te nakon tog snaga počinje opadati.

Zbrajanjem snage plinske i parne turbine dobivamo ukupnu električnu snagu postrojenja. Budući da je promjena snage plinske turbine znatno veća od promjene snage parne turbine, jasno je da graf promjene ukupne snage postrojenja mora biti sličan grafu promjene snage plinske turbine, što se i vidi na Slici 15.

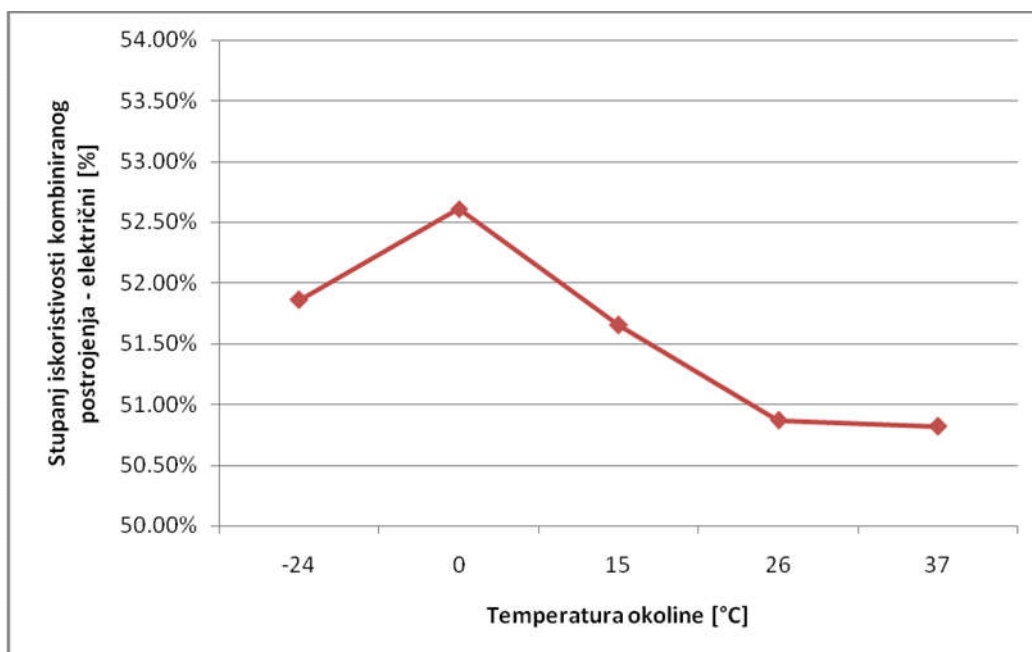


Slika 15. Ovisnost ukupne električne snage postrojenja o temperaturi okoline



Slika 16. Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o temperaturi okoline

Slika 16 prikazuje ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja o temperaturi okolišnog zraka. Vidi se da se s porastom vanjske temperature snižava stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja.



Slika 17. Ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o temperaturi okoline

Na Slici 17 prikazana je ovisnost stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o temperaturi okoline. Simulacija je pokazala da s porastom temperature stupanj iskoristivosti prvo kreće rasti, da bi na nekoj vanjskoj temperaturi dostigao maksimum. Kada bi se htjelo otkriti tu vanjsku temperaturu, bilo bi potrebno izvršiti još nekoliko simulacija s vanjskom temperaturom između -24 °C i 15 °C. Nakon točke maksimalnog stupnja iskoristivosti, on se počinje smanjivati s porastom temperature.

Iz priloženih slika i tablica može se zaključiti da promjena temperature okolišnog zraka puno više utječe na rad postrojenja u odnosu na promjene tlaka okolišnog zraka i na promjenu relativne vlažnosti zraka.

3. RAD POSTROJENJA U OVISNOSTI O POTREBNOJ TOPLINSKOJ SNAZI

Kogeneracijska postrojenja imaju različite režime rada. Željeni režim rada postrojenja ovisi o potrebi za električnom i toplinskom energijom, pa tako Blok L u TE-TO Zagreb ima nazivnu električnu snagu od 112 MW i nazivnu toplinsku snagu od 110 MW. Naravno, postrojenje ne može postići nazivnu električnu i nazivnu toplinsku snagu u isto vrijeme. U ovom dijelu rada analiziraju se razlike u radu postrojenja u pojedinim režimima.

Kako bi se lakše analizirao rad postrojenja u ovisnosti o potrebnoj toplinskoj snazi, neki parametri simulacije su držani na konstantnim vrijednostima, kako je prikazano u Tablici 9, dok se tražena toplinska snaga mijenjala u koracima po 20 MW, od 0 MW do 100 MW.

Tablica 9. Konstantni parametri pri promjeni tražene toplinske snage

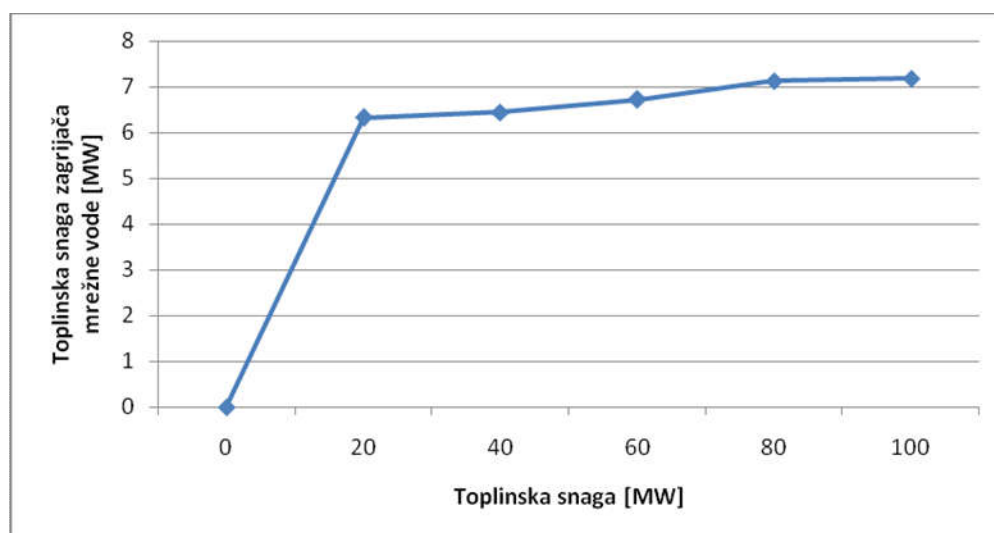
Konstantni parametri	
Temperatura okoline [°C]	15
Tlak zraka [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Opterećenje [%]	100%
Maseni protok goriva [kg/s]	4.641
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849
Temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine [°C]	605.6
Snaga plinske turbine [MW]	75.18

Tablica 10. Rezultati simulacije za različite toplinske snage

Tražena toplinska snaga [MW]	0	20	40	60	80	100
Proizvodnja niskotlačne pare [kg/s]	9.003	9.003	9.003	9.003	9.003	9.003
Proizvodnja visokotlačne pare [kg/s]	30.743	30.743	30.743	30.743	30.743	30.743
Maseni protok pare prema grijaču C5 [kg/s]	0	5.568	13.734	22.354	28.303	23.367
Maseni protok pare prema grijaču C6 [kg/s]	0	0	0	0	2.896	14.828
Toplinska snaga zagrijača mrežne vode [MW]	0	6.324	6.445	6.726	7.127	7.177
Toplinska snaga grijača C5 [MW]	0	13.676	33.555	53.274	65.606	55.826
Toplinska snaga grijača C6 [MW]	0	0	0	0	7.267	36.997
Snaga parne turbine [MW]	42.622	40.37	36.871	33.181	28.715	21.997
Ukupna električna snaga postrojenja [MW]	117.802	115.55	112.051	108.361	103.895	97.177
Stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja [%]	32.96%	32.96%	32.96%	32.96%	32.96%	32.96%
Stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja - električni [%]	51.65%	50.66%	49.13%	47.51%	45.55%	42.60%
Ukupni stupanj iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja [%]	51.73%	59.51%	66.74%	73.87%	80.72%	86.78%

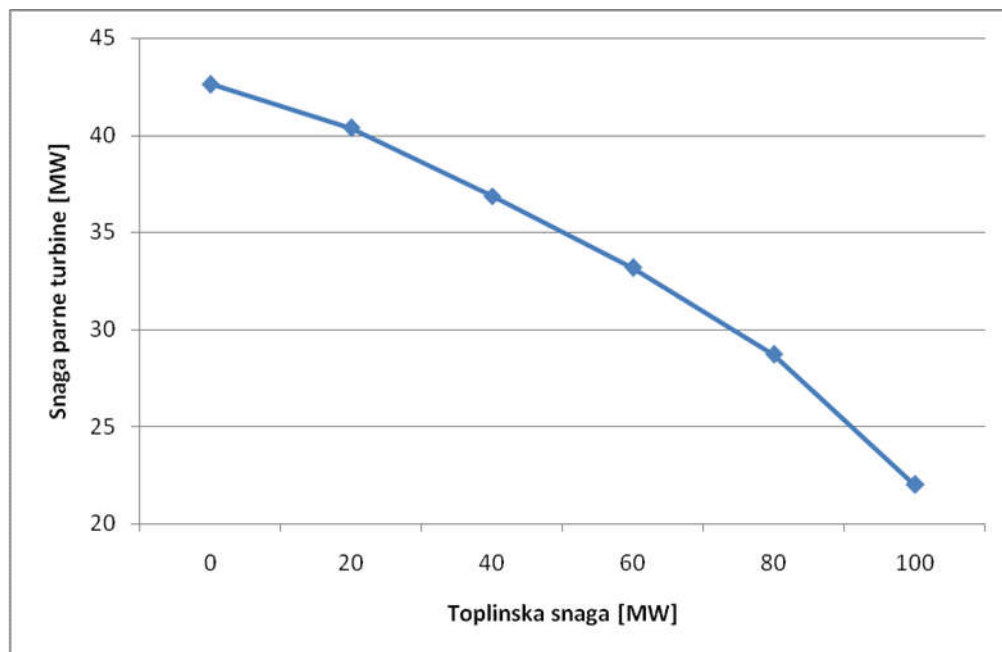
Iz Tablice 10 može se vidjeti da je proizvodnja niskotlačne i visokotlačne pare konstantna za sva toplinska opterećenja pogona. To je i logično budući da su i maseni protok dimnih plinova i temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine konstantni za sva toplinska opterećenja. Međutim, kako grijači C5 i C6 koriste paru za zagrijavanje mrežne vode, protok pare kroz parnu turbinu se smanjuje s porastom potražnje za toplinskom snagom te se tako izravno smanjuje i snaga parne turbine.

Na Slici 18 prikazana je toplinska snaga zagrijača mrežne vode za različite iznose toplinske snage. Zagrijač mrežne vode posljednji je izmjenjivač topline prije izlaska dimnih plinova u atmosferu, tako da on ne postiže veliku snagu. Ako nema potrebe za toplinskom snagom (0 MW), zagrijač ima snagu od 0 MW, međutim, čim se pojavi potreba za toplinskom snagom, on odmah ulazi u pogon. Kada uđe u pogon, snaga mu se vrlo malo mijenja s potrebnom toplinskom snagom. Zbog aktiviranja grijača C5 i C6 dolazi do promjene ulazne temperature vode u zagrijač kondenzata, što ima za posljedicu promjenu toplinskog toka koji se izmjenjuje između dimnih plinova i vode. Sukladno tome mijenja se temperatura dimnih plinova na izlazu iz zagrijača kondenzata, kao i temperatura dimnih plinova na ulazu u zagrijač mrežne vode. Iz tog razloga, mijenja se i toplinska snaga izmjenjivača.



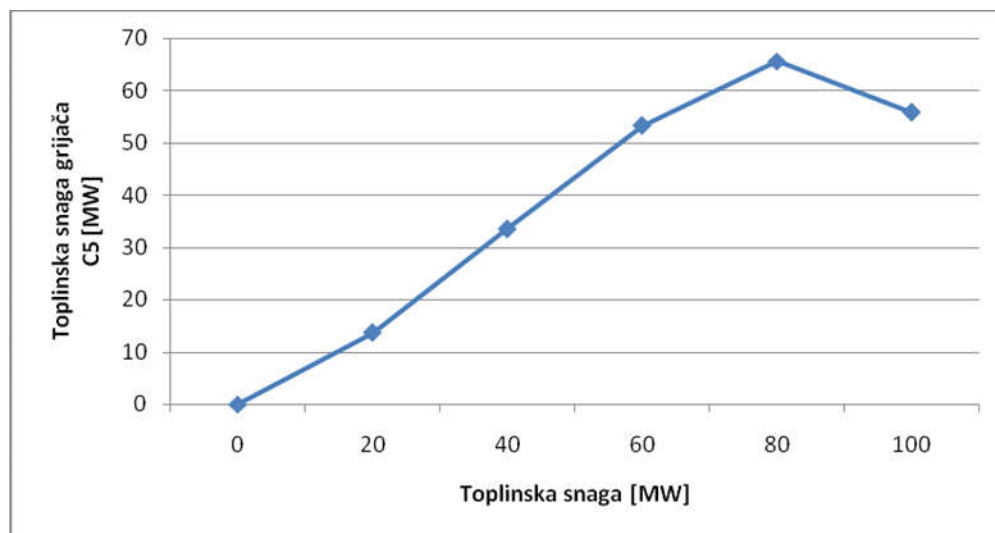
Slika 18. Ovisnost toplinske snage zagrijača mrežne vode o potrebnoj toplinskoj snazi

Grijači C5 i C6 koriste vodenu paru za zagrijavanje mrežne vode te se time smanjuje količina raspoložive pare za parnu turbinu. Pad količine pare koja prolazi kroz parnu turbinu se manifestira kroz pad snage parne turbine, kao što se vidi na Slici 19.

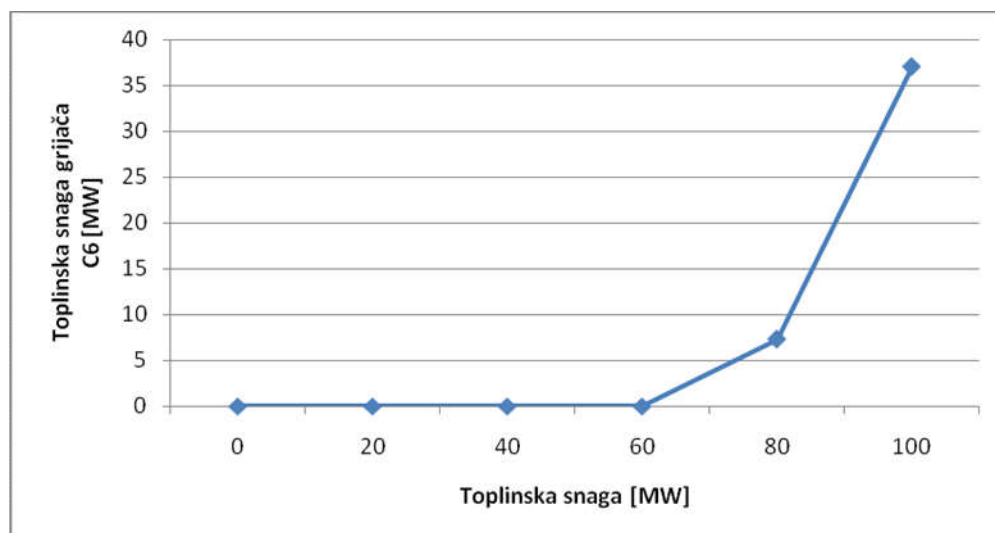


Slika 19. Ovisnost snage parne turbine o potrebnoj toplinskoj snazi

Grijači C5 i C6 ne koriste istu paru za zagrijavanje mrežne vode. Naime, grijač C5 koristi paru nižeg tlaka (drugo oduzimanje) nego grijač C6 (prvo oduzimanje), tako da je bolje koristiti samo grijač C5 koliko god je to moguće. U simulaciji je grijač C6 bio isključen sve do potražnje za toplinskom snagom od 80 MW. Pri potražnji od 80 MW grijač C6 preuzima mali dio opterećenja, dok pri potražnji od 100 MW grijač C6 preuzima oko 37 MW opterećenja, kao što se vidi na Slici 21. To objašnjava pad opterećenja grijača C5 pri potražnji od 100 MW toplinske snage, vidljiv na Slici 20. Upravljanje snagama grijača C5 i C6 u simulaciji uvjetovano je maksimalnim snagama grijača i fizikalnim ograničenjima same simulacije. Naime, drugo oduzimanje pare bilo bi preveliko kada bi se htjelo postići 80 MW bez uporabe grijača C6 te program javlja nekoliko grešaka i prekida simulaciju. Iz istog razloga, kada se želi postići toplinsku snagu od 100 MW, potrebno je smanjiti snagu grijača C5 i povećati snagu grijača C6.

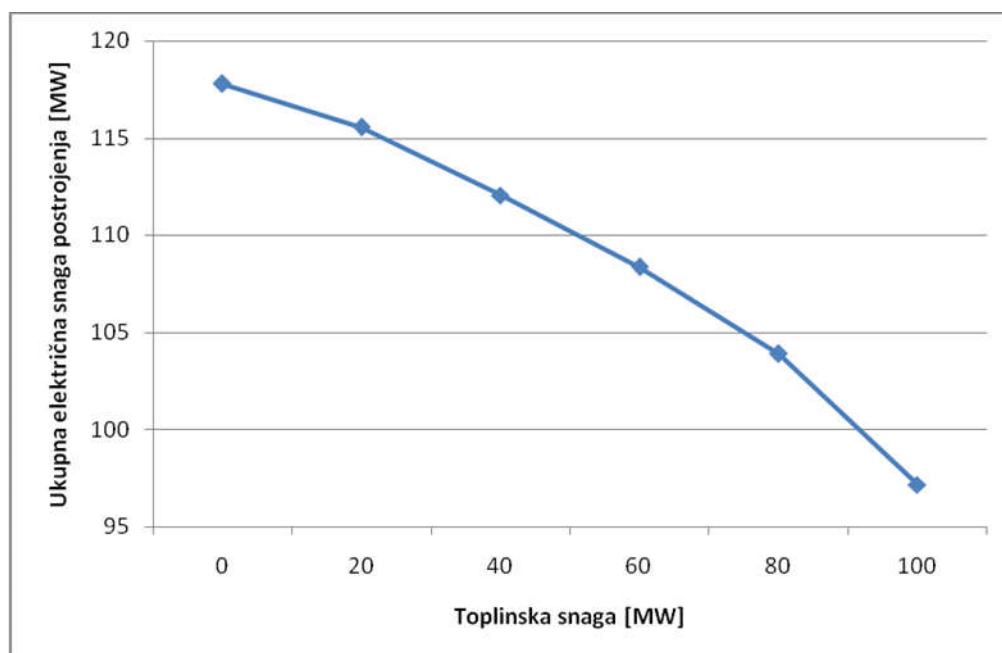


Slika 20. Ovisnost toplinske snage grijača C5 o potrebnoj toplinskoj snazi



Slika 21. Ovisnost toplinske snage grijača C6 o potrebnoj toplinskoj snazi

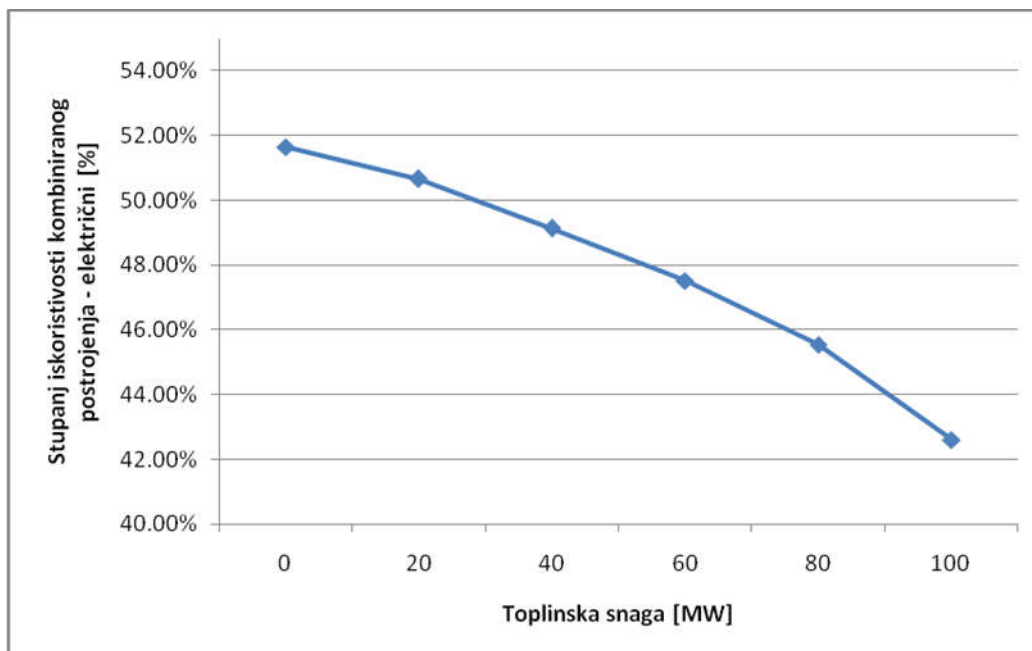
Kako je snaga plinske turbine konstantna, kao i maseni protok goriva, jasno je da je stupanj iskoristivosti plinske turbine također konstantan i on iznosi 32.96%. Isto tako, ako je snaga plinske turbine konstantna, ukupna električna snaga postrojenja mijenja se isključivo zbog promjene snage parne turbine, što se vidi na Slici 22.



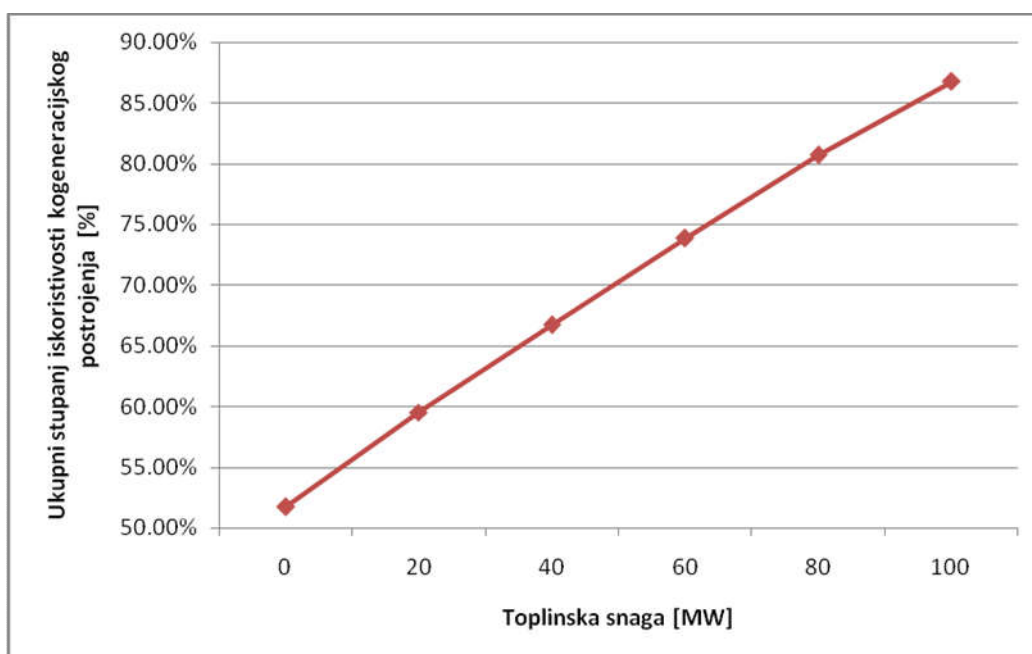
Slika 22. Ovisnost ukupne električne snage postrojenja o potrebnoj toplinskoj snazi

Budući da s porastom potrebne toplinske snage pada ukupna električna snaga postrojenja, a potrošnja goriva je konstantna, jasno je da električni stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja također mora biti u padu, kao što to pokazuje Slika 23.

S druge strane, porast potrebne toplinske snage je veći od pada snage plinske turbine, što znači da se ukupno dobije više snage. Iz tog razloga ukupni stupanj iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja raste s porastom potražnje za toplinskom snagom, te za 100 MW doseže čak 86.78%, što je prikazano na Slici 24.



Slika 23. Ovisnost električnog stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja o potrebnoj toplinskoj snazi



Slika 24. Ovisnost ukupnog stupnja iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja o potrebnoj toplinskoj snazi

4. PARAMETRI RADA POSTROJENJA SA SNIŽENIM OPTEREĆENJEM PLINSKE TURBINE

U slučajevima snižene potrebe za električnom energijom, postrojenje je moguće prilagoditi na način da se smanji opterećenje plinske turbine. To nužno za sobom povlači i smanjeni kapacitet parno - turbinskog dijela postrojenja, skupa s grijačima mrežne vode. U ovom dijelu rada će se pažnja posvetiti upravo radu cijelog postrojenja pri sniženom opterećenju plinske turbine.

Kako bi bilo lakše analizirati promjenu parametara u radu postrojenja sa sniženim opterećenjem plinske turbine, neki su parametri određeni konstantnim vrijednostima, što se može vidjeti u Tablici 11. Analizirani su parametri uz promjenu opterećenja od po 10%, od 100% do 60%.

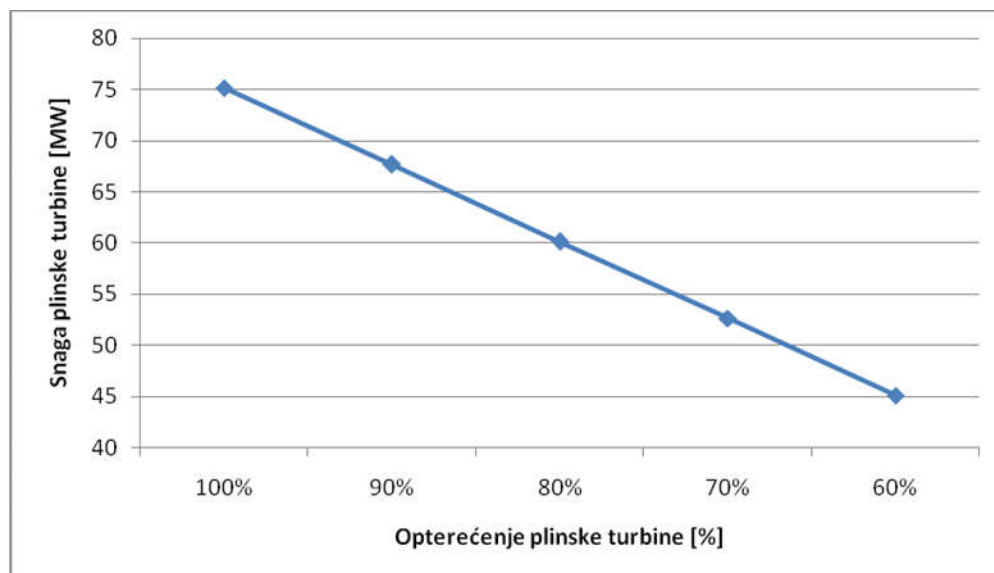
Tablica 11. Konstantni parametri pri promjeni opterećenja plinske turbine

Konstantni parametri	
Temperatura okoline [°C]	15
Tlak zraka [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Zahtjev za toplinskom snagom [MW]	40

Ostali parametri se mijenjaju s promjenom opterećenja plinske turbine. Smanjivanje opterećenja se postiže smanjivanjem masenog protoka goriva i masenog protoka zraka, kao što je vidljivo u Tablici 12. To nužno za sobom povlači i smanjenje masenog protoka dimnih plinova što uzrokuje pad snage na plinskoj turbini, koji je pokazan na Slici 25. U isto vrijeme raste temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine.

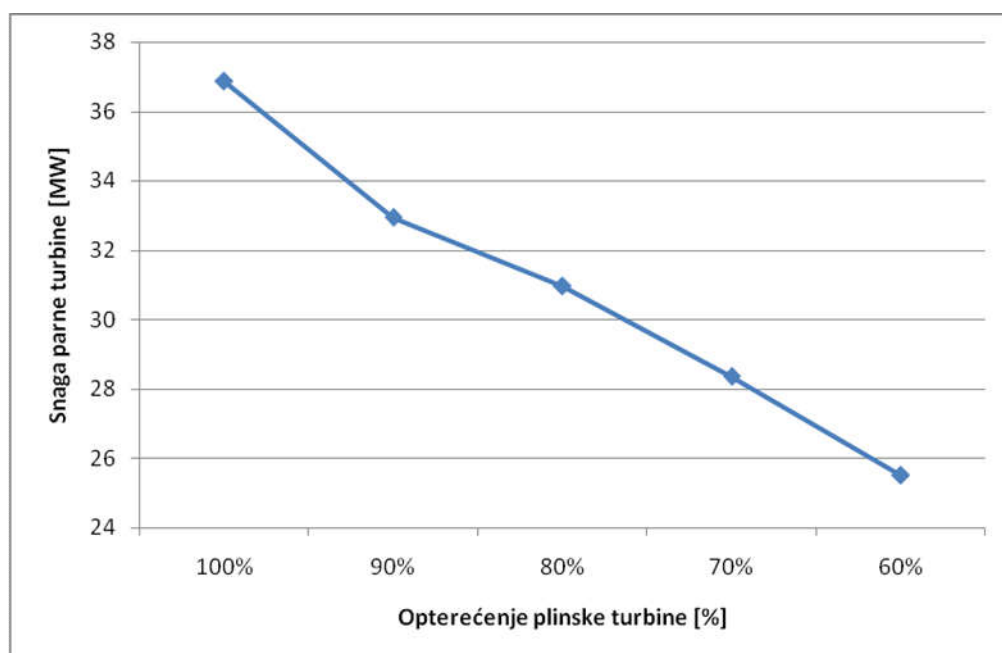
Tablica 12. Rezultati simulacije za različita opterećenja plinske turbine

Opterećenje [%]	100%	90%	80%	70%	60%
Maseni protok goriva [kg/s]	4.641	4.186	3.856	3.486	3.097
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	195.619	180.2	162.917	144.735
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	199.805	184.056	166.403	147.832
Temperatura dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine [°C]	605.6	607.2	618.3	628.3	638.9
Temperatura dimnih plinova na izlazu generatora pare na otpadnu toplinu [°C]	82.6	81.1	80	78.7	77.4
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	67.662	60.144	52.626	45.108
Proizvodnja niskotlačne pare [kg/s]	9.003	8.009	7.285	6.49	5.671
Proizvodnja visokotlačne pare [kg/s]	30.743	27.9	26.595	24.771	22.685
Toplinska snaga zagrijača mrežne vode [MW]	6.445	5.907	5.488	5.034	4.577
Toplinska snaga grijača C5 [MW]	33.555	34.093	34.512	34.966	35.423
Tlak na ulazu u parnu turbinu [kPa]	9500	8647	8252	7700	7066
Tlak prvog oduzimanja na parnoj turbini [kPa]	1100	994	937	865	786
Tlak drugog oduzimanja na parnoj turbini [kPa]	250	207	183	153	120
Snaga parne turbine [MW]	36.871	32.944	30.958	28.36	25.515
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	112.051	100.606	91.102	80.986	70.623
Stupanj iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja [%]	32.96%	32.88%	31.73%	30.71%	29.63%
Stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja - električni [%]	49.13%	48.90%	48.06%	47.26%	46.39%
Ukupni stupanj iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja [%]	66.74%	68.41%	69.24%	70.67%	72.73%

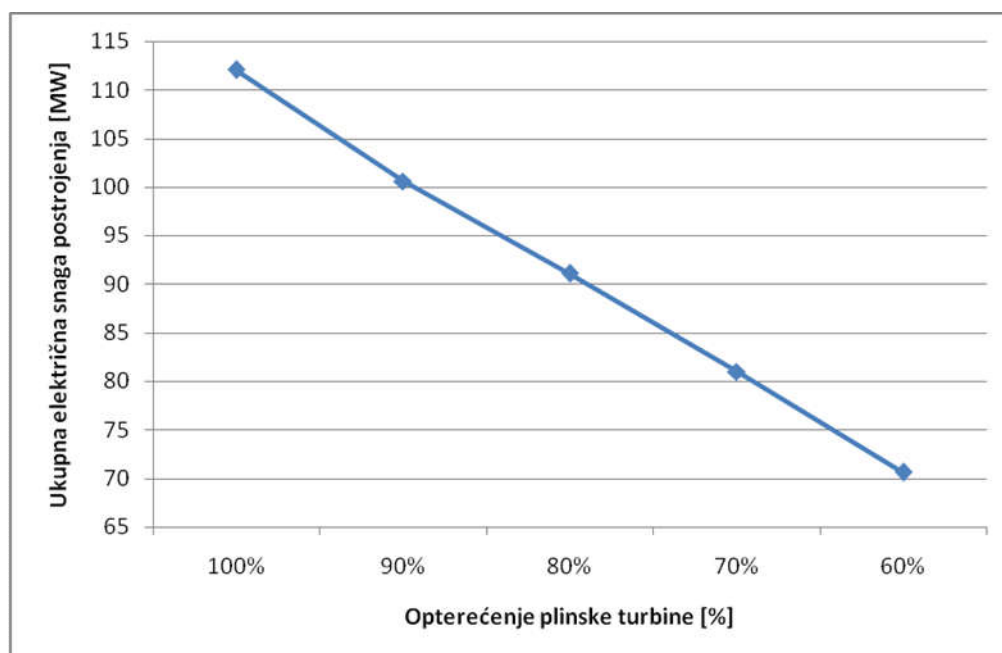


Slika 25. Prikaz snage plinske turbine za različita opterećenja

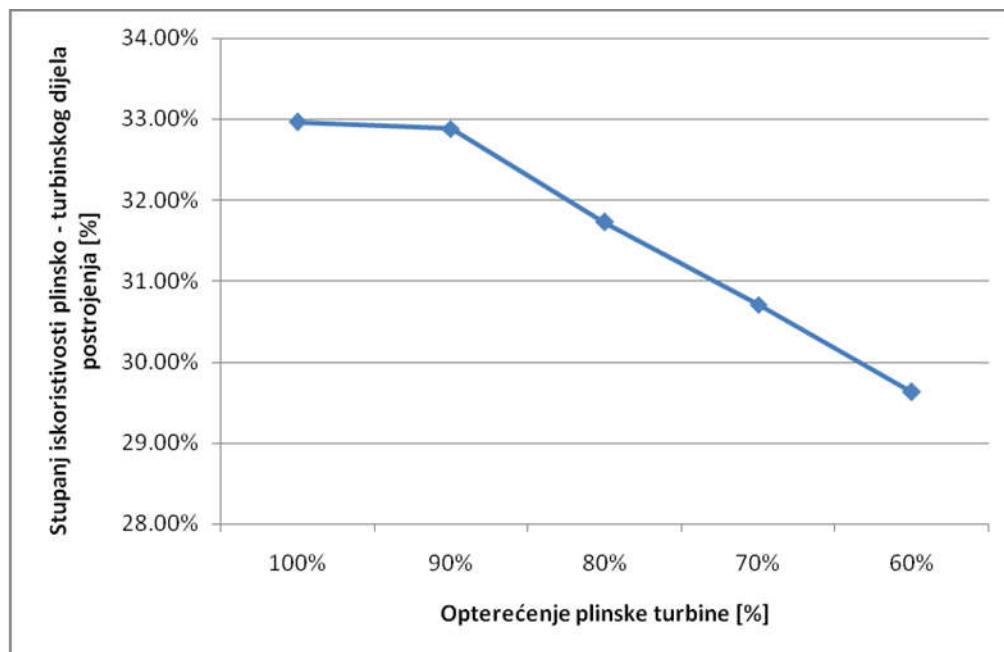
Tablica 12 pokazuje da smanjenje masenog protoka dimnih plinova ima veći utjecaj od porasta temperature dimnih plinova na izlazu iz plinske turbine na izmjenu topline u generatoru pare na otpadnu toplinu. To se vidi po smanjenju proizvodnje visokotlačne i niskotlačne pare s padom opterećenja. Uz to, s padom opterećenja padaju i tlakovi u parno - turbinskom dijelu - tlak na ulazu u parnu turbinu te tlak prvog i tlak drugog oduzimanja. To izravno utječe na cijeli parno - turbinski dio postrojenja. Vidi se da pada toplinska snaga zagrijača mrežne vode, što znači da će se morati povećati snaga grijača C5 tako da se poveća protok pare prema njemu. Sve to na kraju uzrokuje pad snage parne turbine prikazan Slikom 26. Naravno, ako pada snaga plinske i parne turbine, jasno je da će padati i ukupna električna snaga postrojenja (Slika 27). Simulacija je pokazala i da s padom opterećenja pada i stupanj iskorištenja plinsko - turbinskog dijela postrojenja, kao i električni stupanj iskorištenja kombiniranog postrojenja, što je prikazano Slikom 28 i Slikom 29.



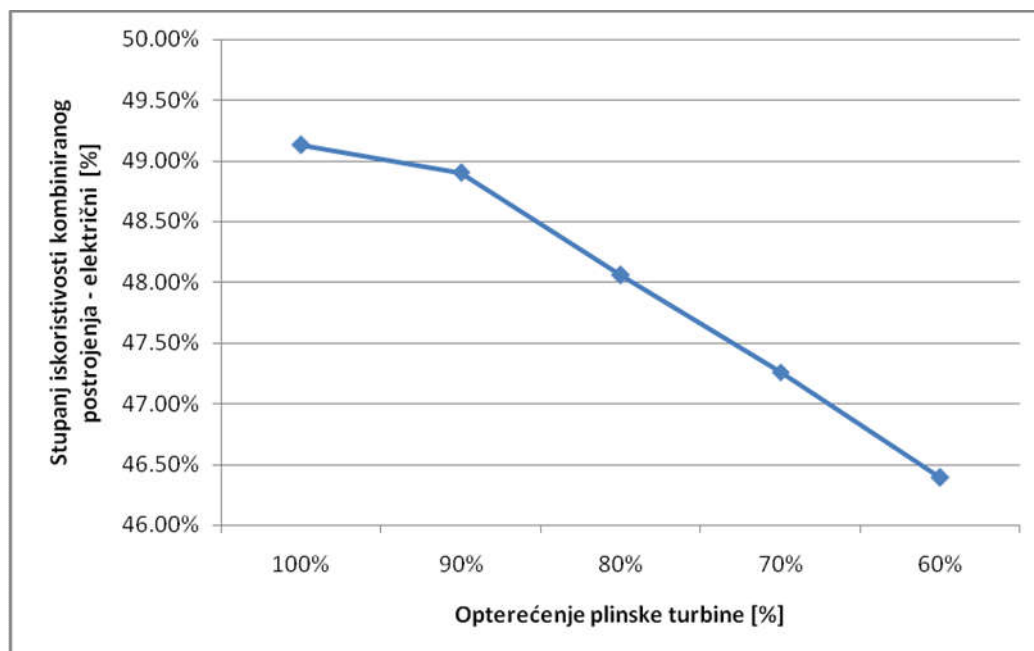
Slika 26. Ovisnost snage parne turbine u odnosu na opterećenje plinske turbine



Slika 27. Ovisnost ukupne snage postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine

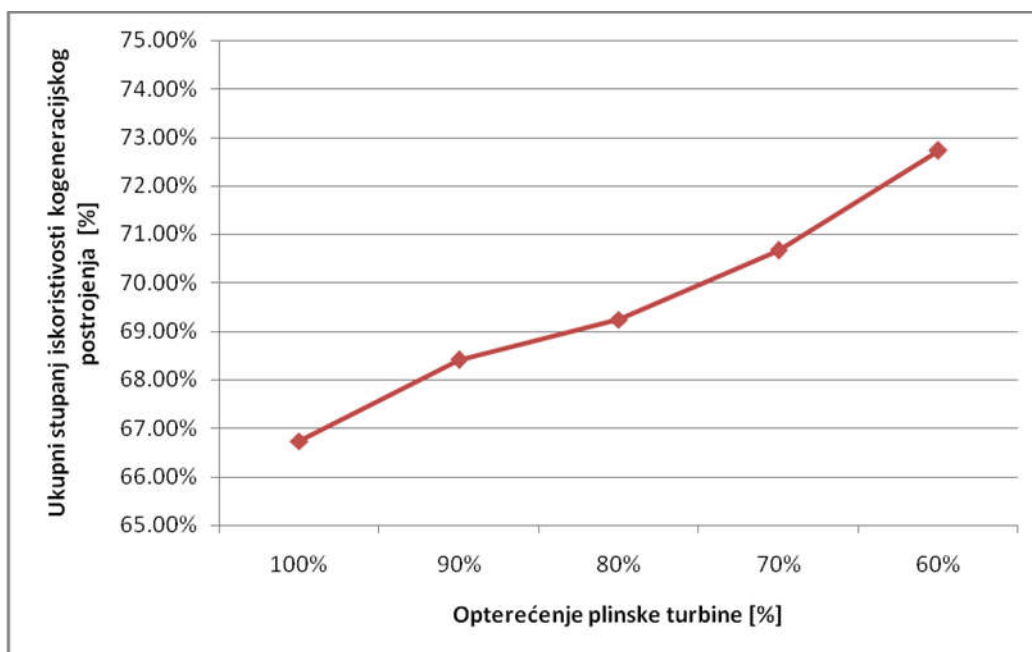


Slika 28. Ovisnost stupnja iskoristivosti plinsko - turbinskog dijela postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine



Slika 29. Ovisnost električnog stupnja iskoristivosti kombiniranog postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine

Iz Tablice 12 također se može vidjeti da se temperatura dimnih plinova na izlazu generatora pare na otpadnu toplinu smanjuje s padom opterećenja. To je pokazatelj da se veći dio topline dobivene izgaranjem iskoristi prije ispuštanja dimnih plinova u okoliš. Time se postiže viša vrijednost ukupnog stupnja iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja, što se i vidi na Slici 30.



Slika 30. Ovisnost ukupnog stupnja iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja u odnosu na opterećenje plinske turbine

5. ZAKLJUČAK

Iz rezultata prikazanih u prethodnim poglavljima, vidljivo je da promjena svakog faktora ima određeni utjecaj na rad postrojenja. Međutim, neki parametri, kao što su vlaga okolišnog zraka i tlak okolišnog zraka, imaju vrlo malo, skoro zanemariv utjecaj na rad cjelokupnog postrojenja.

S druge strane, vidi se da temperatura okolišnog zraka znatno utječe na rad postrojenja. Ona utječe na rad plinske turbine, kojoj s porastom okolišne temperature znatno pada maksimalna raspoloživa snaga. Posljedično, pada i proizvodnja pare u parno - turbinskom dijelu postrojenja te time pada i snaga parne turbine. To na kraju znači da pada ukupna električna snaga postrojenja, što u ljetnim mjesecima nije nimalo poželjno zbog sve veće rasprostranjenosti uređaja za hlađenje prostora. Zaključeno je i da s porastom vanjske temperature pada stupanj iskoristivosti postrojenja.

Nadalje, prikazana je i analiza rada postrojenja u ovisnosti o potrebnoj toplinskoj snazi. Jasno se vidi da povećanje toplinske snage kao posljedicu ima pad snage parne turbine, zato što manja količina pare preostaje za protjecanje kroz turbinu. Također, vidi se i da se električni stupanj iskoristivosti kombiniranog postrojenja smanjuje s porastom potrebne toplinske snage. Međutim, vidi se da ukupni stupanj iskoristivosti kogeneracijskog postrojenja raste s porastom potrebne toplinske snage, tako da možemo zaključiti da je kogeneracijsko postrojenje učinkovitije u uvjetima veće potražnje za toplinskom snagom.

LITERATURA

- [1] <http://proizvodnja.hep.hr/proizvodnja/povijest/povijestList.aspx> (datum pristupa 20.2.2017.)
- [2] <http://proizvodnja.hep.hr/proizvodnja/osnovni/termoelektrane/teto.aspx> (datum pristupa 20.2.2017.)
- [3] Gršeta, I., Mogućnost ostvarenja statusa povlaštenog proizvođača električne energije iz kogeneracije za TE-TO Zagreb, diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015
- [4] https://www.steag-systemtechnologies.com/ebsilon_professional+M52087573ab0.html (datum pristupa 20. 2 2017.)
- [5] <http://www.ijcsi.org/papers/IJCSI-10-1-3-439-442.pdf> (datum pristupa 17.2.2017.)

PRILOZI

I. Potpune tablice s rezultatima simulacija

Prilog I.

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Opterećenje	100%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	0

Relativna vlažnost zraka [%]	20%	40%	60%	80%	100%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.641	4.641	4.641	4.641
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	216.849	216.849	216.849	216.849
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	221.49	221.49	221.49	221.49
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	605.6	605.6	605.6	605.6
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	126.4	126.4	126.4	126.4	126.5
Snaga plinske turbine [MW]	75.696	75.448	75.18	74.95	74.672
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	8.961	8.982	9.003	9.024	9.046
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.64	30.692	30.743	30.796	30.849
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	4.096	4.106	4.115	4.125	4.135
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.072	0.073	0.073	0.073	0.073
Snaga ind. pare [MW]	0.19	0.19	0.191	0.191	0.192
Protok kroz kondenzator [kg/s]	35.504	35.567	35.631	35.695	35.76
Tlak u kondenzatoru [Pa]	3897	3897	3897	3897	3897
Snaga parne turbine [MW]	42.473	42.547	42.622	42.697	42.773
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	118.169	117.995	117.802	117.647	117.445
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	9500	9500	9500	9500
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	1100	1100	1100	1100
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	250	250	250	250
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	33.18%	33.08%	32.96%	32.86%	32.74%
Stupanj iskoristivosti - električni	51.80%	51.73%	51.65%	51.57%	51.49%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	51.89%	51.81%	51.73%	51.66%	51.57%

Temperatura okoline [°C]	15
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Opterećenje	100%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	0

Tlak okolišnog zraka [Pa]	99325	100325	101325	102325	103325
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.641	4.641	4.641	4.641
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	216.849	216.849	216.849	216.849
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	221.49	221.49	221.49	221.49
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	605.6	605.6	605.6	605.6
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	126.4	126.4	126.4	126.4	126.4
Snaga plinske turbine [MW]	75.158	75.175	75.18	75.22	75.24
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.004	9.003	9.003	9.002	9.002
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.747	30.745	30.743	30.742	30.741
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	4.116	4.116	4.115	4.115	4.115
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.073	0.073	0.073	0.073	0.073
Snaga ind. pare [MW]	0.191	0.191	0.191	0.191	0.192
Protok kroz kondenzator [kg/s]	35.635	35.633	35.631	35.629	35.627
Tlak u kondenzatoru [Pa]	3897	3897	3897	3897	3897
Snaga parne turbine [MW]	42.627	42.624	42.622	42.62	42.618
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	117.785	117.799	117.802	117.84	117.858
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	9500	9500	9500	9500
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	1100	1100	1100	1100
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	250	250	250	250
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.95%	32.96%	32.96%	32.98%	32.98%
Stupanj iskoristivosti - električni	51.63%	51.64%	51.65%	51.66%	51.67%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	51.72%	51.73%	51.73%	51.74%	51.75%

Temperatura okoline [°C]	-24
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	86.3
Toplinska snaga [MW]	0

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	5.029	4.72	4.403	4.075	3.618
Maseni protok zraka [kg/s]	235.017	220.564	205.736	190.407	169.056
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	240.046	225.284	210.139	194.482	172.674
Temperatura DP iza PT [°C]	558.3	572	587	603.5	613.9
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	129.1	127	125.7	124.5	122.8
Snaga plinske turbine [MW]	86.3	77.67	69.04	60.41	51.78
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	10.092	9.323	8.588	7.846	6.847
Proizvodnja VT pare [kg/s]	28.408	27.857	27.298	26.656	24.458
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	4.358	4.245	4.132	3.957	3.61
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.039	0.058	0.06	0.052	0.045
Snaga ind. pare [MW]	0.102	0.153	0.157	0.136	0.119
Protok kroz kondenzator [kg/s]	34.141	32.935	31.754	30.545	27.695
Tlak u kondenzatoru [Pa]	1964	1914	1863	1804	1692
Snaga parne turbine [MW]	41.887	41.123	40.057	38.53	35.12
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	128.187	118.793	109.097	98.94	86.9
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	9400	9243	9047	8321
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	1066	1029	989	897
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	242	233	224	203
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	34.91%	33.48%	31.90%	30.22%	29.12%
Stupanj iskoristivosti - električni	51.86%	51.20%	50.41%	49.40%	48.87%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	51.90%	51.27%	50.49%	49.47%	48.94%

Temperatura okoline [°C]	0
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	79.5
Toplinska snaga [MW]	0

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.747	4.435	4.084	3.691	3.284
Maseni protok zraka [kg/s]	221.838	207.265	190.824	172.488	153.439
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	226.585	211.7	194.908	176.179	156.723
Temperatura DP iza PT [°C]	585	597	608	618	629
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	125.6	124.4	123.1	121.7	120.1
Snaga plinske turbine [MW]	79.5	71.55	63.6	55.65	47.7
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.273	8.57	7.791	6.939	6.071
Proizvodnja VT pare [kg/s]	29.328	28.51	27.187	25.346	23.294
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	4.465	4.314	4.089	3.786	3.452
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.078	0.071	0.064	0.057	0.05
Snaga ind. pare [MW]	0.205	0.187	0.169	0.151	0.133
Protok kroz kondenzator [kg/s]	34.137	32.766	30.899	28.498	25.913
Tlak u kondenzatoru [Pa]	1790	1739	1671	1589	1503
Snaga parne turbine [MW]	43.249	41.718	39.506	36.591	33.39
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	122.749	113.268	103.106	92.241	81.09
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	9242	8825	8243	7592
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	1055	995	918	835
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	240	226	209	190
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	34.07%	32.82%	31.69%	30.67%	29.56%
Stupanj iskoristivosti - električni	52.61%	51.96%	51.37%	50.84%	50.24%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	52.69%	52.04%	51.45%	50.92%	50.33%

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	0

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.186	3.856	3.486	3.097
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	195.619	180.2	162.917	144.735
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	199.805	184.056	166.403	147.832
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	607.2	618.3	628.3	638.9
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	126.4	125.1	123.9	122.5	121
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	67.662	60.144	52.626	45.108
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	8.009	7.285	6.49	5.671
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	27.9	26.595	24.771	22.685
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	4.115	3.745	3.563	3.313	3.025
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.073	0.066	0.06	0.054	0.048
Snaga ind. pare [MW]	0.191	0.174	0.158	0.142	0.125
Protok kroz kondenzator [kg/s]	35.631	32.165	30.317	27.948	25.331
Tlak u kondenzatoru [Pa]	3897	3538	3356	3134	2904
Snaga parne turbine [MW]	42.622	38.657	36.64	33.953	30.922
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	117.802	106.319	96.784	86.579	76.03
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8647	8252	7700	7066
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	995	937	864	784
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	226	213	196	178
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	32.88%	31.73%	30.71%	29.63%
Stupanj iskoristivosti - električni	51.65%	51.67%	51.06%	50.52%	49.94%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	51.73%	51.76%	51.15%	50.61%	50.02%

Temperatura okoline [°C]	26
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	68.6
Toplinska snaga [MW]	0

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.325	3.921	3.602	3.223	2.804
Maseni protok zraka [kg/s]	202.111	183.247	168.333	150.62	131.037
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	206.436	187.168	171.935	153.843	133.841
Temperatura DP iza PT [°C]	618	621	631	638	643
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	126.7	125.5	124.3	122.9	121.4
Snaga plinske turbine [MW]	68.6	61.74	54.88	48.02	41.16
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	8.237	7.372	6.688	5.897	5.046
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.041	27.49	26.001	23.731	20.929
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	3.487	3.224	3.062	2.811	2.49
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.062	0.057	0.052	0.047	0.041
Snaga ind. pare [MW]	0.163	0.149	0.137	0.123	0.109
Protok kroz kondenzator [kg/s]	34.791	31.638	29.627	26.817	23.485
Tlak u kondenzatoru [Pa]	7126	6392	5954	5386	4770
Snaga parne turbine [MW]	39.548	36.213	34.136	31.093	27.372
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	108.148	97.953	89.016	79.113	68.532
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8717	8257	7553	6681
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	1002	938	850	745
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	228	213	193	169
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.27%	32.03%	31.00%	30.31%	29.86%
Stupanj iskoristivosti - električni	50.87%	50.82%	50.28%	49.94%	49.72%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	50.95%	50.90%	50.35%	50.01%	49.80%

Temperatura okoline [°C]	37
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	61.99
Toplinska snaga [MW]	0

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.046	3.681	3.316	2.935	2.553
Maseni protok zraka [kg/s]	189.072	172.003	154.954	137.147	119.312
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	193.118	175.684	158.27	140.082	121.865
Temperatura DP iza PT [°C]	631.7	635.5	640	644	648.9
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	124.8	123.7	122.7	121.5	120.2
Snaga plinske turbine [MW]	61.99	55.791	49.592	43.393	37.194
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	7.616	6.844	6.086	5.31	4.549
Proizvodnja VT pare [kg/s]	29.614	27.229	24.834	22.214	19.572
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	3.481	3.202	2.902	2.6	2.277
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.063	0.057	0.052	0.046	0.041
Snaga ind. pare [MW]	0.164	0.151	0.137	0.122	0.107
Protok kroz kondenzator [kg/s]	33.749	30.871	28.018	24.924	21.844
Tlak u kondenzatoru [Pa]	6184	5804	5579	5074	4725
Snaga parne turbine [MW]	39.08	35.847	32.53	29.037	25.446
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	101.07	91.638	82.122	72.43	62.64
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8757	8007	7183	6346
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	1008	916	816	716
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	229	208	185	163
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	31.17%	30.84%	30.43%	30.08%	29.64%
Stupanj iskoristivosti - električni	50.82%	50.65%	50.39%	50.21%	49.91%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	50.90%	50.73%	50.47%	50.29%	50.00%

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	0

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.186	3.856	3.486	3.097
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	195.619	180.2	162.917	144.735
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	199.805	184.056	166.403	147.832
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	607.2	618.3	628.3	638.9
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	126.4	125.1	123.9	122.5	121
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	67.662	60.144	52.626	45.108
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	8.009	7.285	6.49	5.671
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	27.9	26.595	24.771	22.685
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	4.115	3.745	3.563	3.313	3.025
Toplinska snaga ZMV [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C5 [MW]	0	0	0	0	0
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	0	0	0	0	0
Protok ind. pare [kg/s]	0.073	0.066	0.06	0.054	0.048
Snaga ind. pare [MW]	0.191	0.174	0.158	0.142	0.125
Protok kroz kondenzator [kg/s]	35.631	32.165	30.317	27.948	25.331
Tlak u kondenzatoru [Pa]	3897	3538	3356	3134	2904
Snaga parne turbine [MW]	42.622	38.657	36.64	33.953	30.922
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	117.802	106.319	96.784	86.579	76.03
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8647	8252	7700	7066
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	995	937	864	784
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	226	213	196	178
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	32.88%	31.73%	30.71%	29.63%
Stupanj iskoristivosti - električni	51.65%	51.67%	51.06%	50.52%	49.94%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	51.73%	51.76%	51.15%	50.61%	50.02%

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	20

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.186	3.856	3.486	3.097
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	195.619	180.2	162.917	144.735
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	199.805	184.056	166.403	147.832
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	607.2	618.3	628.3	638.9
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	82.1	80.6	79.4	78	76.4
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	67.662	60.144	52.626	45.108
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	8.009	7.285	6.49	5.671
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	27.9	26.595	24.771	22.685
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	5.568	5.802	5.988	6.196	6.417
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	3.97	3.577	3.38	3.11	2.799
Toplinska snaga ZMV [MW]	6.324	5.758	5.319	4.835	4.329
Toplinska snaga C5 [MW]	13.676	14.242	14.681	15.165	15.671
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	20	20	20	20	20
Protok ind. pare [kg/s]	0.07	0.063	0.057	0.05	0.044
Snaga ind. pare [MW]	0.184	0.165	0.149	0.132	0.115
Protok kroz kondenzator [kg/s]	30.208	26.531	24.512	21.956	19.14
Tlak u kondenzatoru [Pa]	3390	3041	2860	2644	2422
Snaga parne turbine [MW]	40.37	36.325	34.249	31.504	28.424
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	115.55	103.987	94.393	84.13	73.532
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8647	8252	7700	7066
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	994	937	863	783
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	219	202	180	157
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	32.88%	31.73%	30.71%	29.63%
Stupanj iskoristivosti - električni	50.66%	50.54%	49.80%	49.10%	48.30%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	59.51%	60.34%	60.43%	60.84%	61.51%

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	40

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.186	3.856	3.486	3.097
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	195.619	180.2	162.917	144.735
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	199.805	184.056	166.403	147.832
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	607.2	618.3	628.3	638.9
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	82.6	81.1	80	78.7	77.4
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	67.662	60.144	52.626	45.108
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	8.009	7.285	6.49	5.671
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	27.9	26.595	24.771	22.685
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	13.734	14.048	14.306	14.623	15.032
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	0	0
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	3.644	3.2	2.963	2.636	2.206
Toplinska snaga ZMV [MW]	6.445	5.907	5.488	5.034	4.577
Toplinska snaga C5 [MW]	33.555	34.093	34.512	34.966	35.423
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	0	0
Ukupna toplinska snaga [MW]	40	40	40	40	40
Protok ind. pare [kg/s]	0.064	0.056	0.05	0.043	0.036
Snaga ind. pare [MW]	0.169	0.148	0.131	0.113	0.094
Protok kroz kondenzator [kg/s]	22.368	18.662	16.611	14.002	11.092
Tlak u kondenzatoru [Pa]	2788	2467	2301	2104	1899
Snaga parne turbine [MW]	36.871	32.944	30.958	28.36	25.515
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	112.051	100.606	91.102	80.986	70.623
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8647	8252	7700	7066
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	994	937	865	786
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	207	183	153	120
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	32.88%	31.73%	30.71%	29.63%
Stupanj iskoristivosti - električni	49.13%	48.90%	48.06%	47.26%	46.39%
Stupanj iskoristivosti - ukupni	66.74%	68.41%	69.24%	70.67%	72.73%

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	60

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	4.186	3.856	-	-
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	195.619	180.2	-	-
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	199.805	184.056	-	-
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	607.2	618.3	-	-
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	83.5	82.6	81.9	-	-
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	67.662	60.144	-	-
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	8.009	7.285	-	-
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	27.9	26.595	-	-
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	22.354	23.232	24.078	-	-
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	0	0	0	-	-
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	2.866	2.118	1.561	-	-
Toplinska snaga ZMV [MW]	6.726	6.315	6.021	-	-
Toplinska snaga C5 [MW]	53.274	53.685	53.979	-	-
Toplinska snaga C6 [MW]	0	0	0	-	-
Ukupna toplinska snaga [MW]	60	60	60	-	-
Protok ind. pare [kg/s]	0.051	0.038	0.028	-	-
Snaga ind. pare [MW]	0.133	0.1	0.074	-	-
Protok kroz kondenzator [kg/s]	14.526	10.56	8.24	-	-
Tlak u kondenzatoru [Pa]	2318	1975	1793	-	-
Snaga parne turbine [MW]	33.181	29.793	28.325	-	-
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	108.361	97.455	88.469	-	-
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	8647	8254	-	-
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	999	951	-	-
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	179	138	-	-
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	32.88%	31.73%	-	-
Stupanj iskoristivosti - električni	47.51%	47.36%	46.68%	-	-
Stupanj iskoristivosti - ukupni	73.87%	76.57%	78.37%	-	-

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	80

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	-	-	-	-
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	-	-	-	-
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	-	-	-	-
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	-	-	-	-
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	85	-	-	-	-
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	-	-	-	-
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	-	-	-	-
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	-	-	-	-
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	28.303	-	-	-	-
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	2.896	-	-	-	-
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	1.635	-	-	-	-
Toplinska snaga ZMV [MW]	7.127	-	-	-	-
Toplinska snaga C5 [MW]	65.606	-	-	-	-
Toplinska snaga C6 [MW]	7.267	-	-	-	-
Ukupna toplinska snaga [MW]	80	-	-	-	-
Protok ind. pare [kg/s]	0.08	-	-	-	-
Snaga ind. pare [MW]	0.21	-	-	-	-
Protok kroz kondenzator [kg/s]	6.912	-	-	-	-
Tlak u kondenzatoru [Pa]	1949	-	-	-	-
Snaga parne turbine [MW]	28.715	-	-	-	-
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	103.895	-	-	-	-
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	-	-	-	-
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	-	-	-	-
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	-	-	-	-
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	-	-	-	-
Stupanj iskoristivosti - električni	45.55%	-	-	-	-
Stupanj iskoristivosti - ukupni	80.72%	-	-	-	-

Temperatura okoline [°C]	15
Vanjski tlak [Pa]	101325
Relativna vlažnost zraka [%]	60%
Snaga plinske turbine pri 100% opt. [MW]	75.18
Toplinska snaga [MW]	100

Opterećenje	100%	90%	80%	70%	60%
PLINSKI DIO					
Potrošnja goriva [kg/s]	4.641	-	-	-	-
Maseni protok zraka [kg/s]	216.849	-	-	-	-
Maseni protok dimnih plinova [kg/s]	221.49	-	-	-	-
Temperatura DP iza PT [°C]	605.6	-	-	-	-
Temperatura DP na ulazu u dimnjak [°C]	85.1	-	-	-	-
Snaga plinske turbine [MW]	75.18	-	-	-	-
PARNI DIO					
Proizvodnja NT pare [kg/s]	9.003	-	-	-	-
Proizvodnja VT pare [kg/s]	30.743	-	-	-	-
Maseni protok pare prema C5 [kg/s]	23.367	-	-	-	-
Maseni protok pare prema C6 [kg/s]	14.828	-	-	-	-
Maseni protok pare prema otplinjaču [kg/s]	1.282	-	-	-	-
Toplinska snaga ZMV [MW]	7.177	-	-	-	-
Toplinska snaga C5 [MW]	55.826	-	-	-	-
Toplinska snaga C6 [MW]	36.997	-	-	-	-
Ukupna toplinska snaga [MW]	100	-	-	-	-
Protok ind. pare [kg/s]	0.285	-	-	-	-
Snaga ind. pare [MW]	0.747	-	-	-	-
Protok kroz kondenzator [kg/s]	0.269	-	-	-	-
Tlak u kondenzatoru [Pa]	2500	-	-	-	-
Snaga parne turbine [MW]	21.997	-	-	-	-
Ukupna el. snaga postrojenja [MW]	97.177	-	-	-	-
PARNA TURBINA					
Tlak na ulazu u 1. st [kPa]	9500	-	-	-	-
Tlak na ulazu u 2. st (tlak 1. oduz) [kPa]	1100	-	-	-	-
Tlak na ulazu u 3. st (tlak 2. oduz) [kPa]	250	-	-	-	-
STUPNJEVI ISKORISTIVOSTI					
Stupanj iskoristivosti - plinska	32.96%	-	-	-	-
Stupanj iskoristivosti - električni	42.60%	-	-	-	-
Stupanj iskoristivosti - ukupni	86.78%	-	-	-	-